UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

Efeito da economia de corrida sobre a estratégia de prova utilizada durante
uma corrida de 10km

Everton Crivoi do Carmo

São Paulo

2014

EVERTON CRIVOI DO CARMO

Efeito da economia de corrida sobre a estratégia de prova utilizada durante uma
corrida de 10km

VERSÃO CORRIGIDA

Tese apresentada à Escola de Educação Física
e Esporte da Universidade de São Paulo, como
requisito parcial para a obtenção do título de
Doutor em Ciências

Área de Concentração: Biodinâmica do
Movimento Humano

Orientador: Prof. Dr. Valmor Alberto Augusto
Tricoli

Coorientador: Prof. Dr. Rômulo Cássio de
Moraes Bertuzzi

São Paulo

2014

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo da Publicação

Serviço de Biblioteca

Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo

Carmo, Everton Crivoi do

Efeito da economia de corrida sobre a estratégia de prova
utilizada durante uma corrida de 10 km / Everton Crivoi do
Carmo. – São Paulo : [s.n.], 2014.

117p.

Tese (Doutorado) - Escola de Educação Física e
Esporte da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Valmor Alberto Augusto Tricoli.

Coorientador: Prof. Dr. Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi.

1. Treinamento físico 2. Desempenho esportivo 3. Testes
em educação física e esportes 4. Corridas I. Título.

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Autor: CARMO, Everton Crivoi

Título: Efeito da economia de corrida sobre a estratégia de prova utilizada durante uma corrida de 10km

Tese apresentada à Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências

Data: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

*Dedico este trabalho a Edna Crivoi, que me deu a vida, cuidado,
corrigiu meus erros e comemorou as minhas conquistas.*

AGRADECIMENTOS

Durante o doutorado passamos por uma série de situações, um verdadeiro furacão de sentimentos. Dentro do mesmo dia, algumas vezes em poucas horas, ficamos angustiados, frustrados, motivados, esperançosos, alegres e por diversas vezes pensamos se realmente tudo isso vai valer a pena. Por fim, chegamos ao final do processo com a sensação de que poderíamos ter feito ainda mais, mas com o prazer e a satisfação do sonho realizado. Paramos para pensar em tudo que passamos e temos a certeza de que nada disso seria possível sem as pessoas que passaram por nossas vidas e, direta ou indiretamente, contribuíram para o nosso crescimento. Algumas permanecerão pela vida toda, outras apenas passaram, mas todas deixaram marcas profissionais e pessoais importantes. Seria extremamente difícil escrever sobre todas as pessoas com quem tive a oportunidade de trocar experiências em sete anos de EEFÉ/USP. Sintam-se todos agradecidos e saibam que sempre serão lembrados. Por outro lado, seria um tanto ingrato não falar sobre aqueles que participaram mais de perto desse momento em especial.

Não poderia deixar de agradecer a minha esposa Rose Soares Dureli Crivoi, que lá no começo, mas bem no começo mesmo, ia me encontrar na saída da academia após um dia cheio de trabalho, acreditando que as coisas seriam melhores um dia e que eu seria capaz de alcançar os meus sonhos. Apoiou nas horas ruins, comemorou nas horas boas, aguentou os desabafos e um “pouco” de mau humor. Deu-me o meu maior tesouro, a minha filha Luiza Dureli Crivoi e uma família. Rose te amo muito e pretendo vencer ao seu lado muitas outras etapas.

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais, Edna Crivoi e Edgard Alves do Carmo e minhas avós Ignez e Katarina, que me deram todo amor, apoio, carinho e suporte para me tornar o que sou hoje.

Agradeço ao meu orientador Valmor Tricoli pelos ensinamentos acadêmicos e conselhos profissionais. Pelas conversas sobre os caminhos a serem percorridos e as dificuldades a serem superadas. Pelo apoio e compreensão com algumas situações, trabalhando junto para que os objetivos fossem alcançados. Durante nossa carreira nos espelhamos em algumas pessoas que consideramos um exemplo a ser seguido e eu tive a felicidade de ser orientado por uma dessas pessoas, um exemplo como profissional, com equilíbrio entre as funções de orientador, professor e pesquisador, sempre honesto e correto em suas atitudes.

Agradeço ao meu co-orientador Rômulo Bertuzzi, aos professores Carlos Ugrinowitsch, Hamilton Roschel, Patrícia Brum, Edilamar Menezes, Alexandre Moreira e a todos os outros com quem convivi durante esses anos de EEFE/USP. Obrigado pelas nossas conversas nos corredores, laboratórios, treinos ou no cafezinho à tarde, sempre agregando conhecimento e exemplos a serem seguidos.

A todos os amigos da EEFE/USP. Dificilmente conseguiria citar todos os nomes aqui. Agradeço muito aos amigos do laboratório de Adaptação ao Treinamento de Força, do Ladesp e aos amigos da CPG, Ilza, Mariana, Márcio e Paulo, sem vocês a nossa vida na pós-graduação seria mais complicada.

Agradeço aos amigos que diretamente contribuíram para a realização desse projeto, ao Saulo, a Natalia, ao Henrique, ou Vitinho, ao Thiago, ao Renatão, a Carlinha, ao Gilberto, ao Diego, a Ursula, a Valéria, ao Lucas, ao Rodrigo e ao Eduardo. Obrigado por estarem sempre juntos, ajudando a resolver problemas com os equipamentos, com motoristas na contramão e carros batidos, pelas manhãs e pelas tardes de coletas e treinamento, em dias de sol e dias de chuva. Vocês foram realmente especiais.

E por fim, agradeço a Deus por permitir que toda essa magia ocorra.

Obrigado a todos.

"Tudo aquilo que o homem ignora, não existe para ele. Por isso o universo de cada um, se resume ao tamanho do seu saber."

Albert Einstein

RESUMO

CARMO, Everton Crivoi. **Efeito da economia de corrida sobre a estratégia de prova utilizada durante uma corrida de 10km.** 2014. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014.

A estratégia de corrida utilizada durante uma prova de média e longa duração é dependente de fatores fisiológicos e psicológicos, sendo esses expressos de maneira integrada e consciente pela percepção subjetiva de esforço (PSE) e pelas sensações afetivas. A economia de corrida (EC) tem sido apontada por ter uma importante participação nos ajustes da estratégia de prova. Nesse sentido, a melhora na EC poderia alterar a PSE e o afeto durante a corrida e consequentemente a estratégia utilizada pelo atleta. Uma vez que o treinamento pliométrico tem sido demonstrado por melhorar a EC em corredores, o presente estudo teve como objetivo verificar se as mudanças na EC induzidas pelo treinamento pliométrico poderiam alterar a estratégia de prova em corrida de 10km contrarrelógio. Concluíram o estudo 28 corredores divididos em dois grupos, controle (C, $n = 13$) e treinamento pliométrico (TP, $n=15$). Ambos os grupos mantiveram suas rotinas de treinamento, porém o grupo TP realizou duas sessões semanais de treinamento pliométrico, durante oito semanas. Foram avaliados antes e após o tratamento experimental: o desempenho, a estratégia de prova, a PSE e o afeto durante uma corrida de 10km contrarrelógio; a altura, o tempo de contato com o solo e o índice de força reativa durante o salto em profundidade (SP) e a distância nos cinco saltos horizontais; a economia de corrida a 10km/h (EC10) e 12km/h (EC12) e o VO_2 na velocidade média da prova (VM10); o $VO_{2máx}$, o pico de velocidade na esteira (PV) e a velocidade do VO_{2max} ($vVO_{2máx}$) em um teste máximo; a força dinâmica máxima no teste de 1RM no *leg-press* 45° e a contração voluntária isométrica máxima no dinamômetro isocinético; o *stiffness* do tendão patelar, a espessura dos tendões patelar e calcâneo e a arquitetura muscular do vasto lateral e do gastrocnêmico. Os principais resultados mostram que o treinamento pliométrico melhorou a EC10 em 3,6% ($p = 0,05$) e a EC12 em 4,9% ($p = 0,01$). No entanto, não alterou a PSE, o afeto ou o padrão estratégia de prova utilizada durante a corrida. Entretanto, quando apenas os atletas responsivos ao TP ($EC > 3,5\%$, $n = 11$) foram avaliados, observamos maior velocidade média durante a segunda metade da corrida e melhor desempenho (1,6%, $p = 0,01$). O treinamento pliométrico melhorou a altura do SP (7,2%, $p = 0,004$), o $VO_{2máx}$ (3,4%, $p = 0,03$) e o PV (1,6%, $p = 0,02$). Foi observada maior espessura do tendão patelar na região distal (10,1%, $p = 0,05$) e menor ângulo de penação no músculo gastrocnêmio (-11,1%, $p = 0,04$). Em conclusão, a melhora na EC induzida pelo treinamento pliométrico não alterou o padrão de estratégia de prova utilizada durante uma corrida de 10km contrarrelógio. No entanto, permitiu que o atleta mantivesse maiores velocidades durante a segunda metade da prova. Os efeitos do treinamento pliométrico sobre a EC podem ter sido induzidos pela melhora na utilização do ciclo alongamento-encurtamento decorrente da redução no ângulo de penação dos fascículos no músculo gastrocnêmio.

Palavras-chave: treinamento físico; desempenho esportivo; afeto; percepção de esforço; ciclo alongamento encurtamento; arquitetura muscular.

ABSTRACT

CARMO, Everton Crivoi. **Effect of running economy on pacing strategy during a 10-km race**. 2014. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014.

During middle and long distance races the pacing strategy is dependent on physiological and psychological factors which are expressed in a conscious way by the RPE and the affective feelings. The running economy (RE) has been suggested to be an important factor in the pacing strategy control. Improvements in RE may change the RPE and affective feeling during running which could change the pattern of the pacing strategy. Since the plyometric training has been shown to be an effective method to improve the RE, the aim of this study was to verify if the improvement of RE after a plyometric training program could change the pacing strategy during 10-km time-trial running. Twenty eight runners were divided into two groups, control (C, n=13) and plyometric training (TP, n=15). All of the athletes maintained their running training routines; however, the PT performed two sessions/week of plyometric training during eight weeks. Performance, pacing strategy, RPE and affective feelings during the 10-km time-trial running; the jump high, time of ground contact and reactive strength index in drop-jump and the distance of horizontal five bounds; RE to 10km/h (RE10) and 12km/h (RE12) and the VO_2 to 10-km running average speed (VM10); VO_2max , peak of velocity (PV) and velocity of VO_2max ($v\text{VO}_2\text{max}$) in a treadmill progressive maximal test; one repetition maximum strength in a 45° leg-press and the maximum voluntary isometric contraction (CVIM) in a isokinetic dynamometry; patellar tendon stiffness, patellar and calcaneus tendon thickness and muscle architecture of vastus lateralis and gastrocnemius muscles were analyzed pre and post experimental treatment. The main results showed that the plyometric training improved the RE10 (3.6%; $p = 0.05$) and RE12 (4.9%; $p = 0.01$). Nevertheless, it did not change the RPE, affective feelings or pacing strategy during the 10-km running. When just the responsive athletes ($\text{EC} > 3.5\%$, $n = 11$) were analyzed we observed higher average speed during the second part of the running and better performance (1.6%, $p = 0.01$). Drop-jump performance (7.2%, $p = 0.004$), VO_2max (3.4%, $p=0.03$) and PV (1.6%, $p=0.02$) were also improved. It was observed increased of distal patellar tendon thickness (10.1%, $p = 0.05$) and a lower pennation angle in the gastrocnemius muscle (-11,1%, $p = 0,04$). In conclusion, the RE improvement did not change the pacing strategy during a 10-km time-trial running. However, the athletes were able to maintain higher speeds during the second part of the running and improve their performance. The effects of plyometric training on RE seems to be associated to stretch-shortening cycle improvement induced by changes in pennation angle of the gastrocnemius muscle.

Keywords: physical training; performance; affective feelings; effort perception, stretch shortening cycle; muscle architecture.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Diferentes estratégias de prova utilizadas durante corridas de média e longa duração (adaptado de CARMO et al., 2012a).	7
FIGURA 2. Representação esquemática dos ajustes da intensidade do esforço baseados na percepção subjetiva de esforço. A e B– Respostas fisiológicas aferentes geradas por alterações fisiológicas decorridas do exercício modulam a PSE momentânea. C – O conhecimento sobre a distância ou duração do exercício associada às experiências adquiridas previamente vão modular a PSE esperada para determinado momento. D – A comparação constante entre a PSE momentânea e a PSE esperada geram respostas eferentes centrais controlando a intensidade do esforço para evitar a fadiga prematura (CARMO et al., 2012a).	15
FIGURA 3. Representação esquemática dos ajustes da intensidade do esforço baseados no afeto. A e B - Relação risco e benefício sobre sensações afetivas positivas. C e D - Relação risco e benefício sobre as sensações afetivas negativas.	17
FIGURA 4. Representação temporal dos procedimentos experimentais (as sessões de familiarização não foram realizadas no pós-teste).	39
FIGURA 5. Escala de Borg fixada ao antebraço do sujeito	42
FIGURA 6. Escala de sentimentos (prazer-desprazer). Adaptada de Hardy e Rejeski (1989).	43
FIGURA 7. Padrão de estratégia de prova utilizado durante duas corridas contrarrelógio de 10km.	43
FIGURA 8. Medida de alongamento do tendão patelar A - Posicionamento do transdutor. B - Tendão patelar em repouso. C - Tendão patelar no alongamento máximo. Linha tracejada representa a distância entre o marcador adesivo e a borda inferior da patela.	48
FIGURA 9. Medida de espessura do músculo vasto lateral (VL).	50
FIGURA 10. Medida do ângulo de penação do músculo vasto lateral (VL). Linha pontilhada 2-3 mm acima da aponeurose profunda para determinação do ângulo de penação dos fascículos. VI = vasto intermédio.	51
FIGURA 11. Medida do ângulo de penação e da espessura do músculo gastrocnêmio porção lateral. A - espessura do gastrocnêmio. B - ângulo de penação. Linha pontilhada da figura B 3-4 mm acima da aponeurose profunda para determinação do ângulo de penação dos fascículos.	52
FIGURA 12. Medida da espessura do tendão patelar. A - espessura na região proximal realizada um centímetro a partir da borda inferior da patela. B - espessura na região distal realizada um centímetro a partir da borda inferior da tuberosidade da tíbia. Seta tracejada representa a distância de um centímetro. Linha contínua indica o local de mensuração da espessura do tendão patelar.	53

FIGURA 13. Medida da espessura do tendão calcâneo. Seta tracejada representa a distância de um centímetro. Linha contínua indica o local de mensuração da espessura do tendão calcâneo.	54
FIGURA 14. Exercícios pliométricos	55
FIGURA 15. Economia de corrida e VO_2 na VM10. A - Economia de corrida a 10km/h, B - Economia de corrida a 12km/h, C - Economia de corrida na velocidade média de uma prova de 10km (VM10). *diferença significativa do pré para o pós teste ($p \leq 0,05$).	58
FIGURA 16. Estratégia de prova. A - Grupo controle (C) vs grupo treinamento pliométrico (TP) no teste pré, B - Grupo C - pré vs pós, C - Grupo TP – pré vs pós.	60
FIGURA 17. Comportamento da PSE e do afeto durante corrida de 10km. C - grupo controle, TP - grupo treinamento pliométrico. Figura A - comportamento da PSE nos grupos C e TP no teste pré. Figura B - comportamento da PSE no grupo C no teste pré vs pós. Figura C - comportamento da PSE no grupo TP no teste pré vs pós. Figura D - comportamento do afeto nos grupos C e TP no teste pré. Figura E - comportamento do afeto no grupo C no teste pré vs pós. Figura F - comportamento do afeto no grupo TP no teste pré vs pós.	62
FIGURA 18. Estratégia de prova antes e após a melhora na economia de corrida.....	63
FIGURA 19. Comportamento da PSE e do afeto durante corrida de 10km após alterações na EC. A - PSE pré vs pós. B - Afeto pré vs pós.	65
FIGURA 20. Rigidez de tendão patelar (relação força-alongamento) nos grupos controle e treinamento pliométrico pré e pós tratamento experimental. A - Grupo controle, B - Grupo treinamento pliométrico. Os valores de desvio padrão foram retirados para melhor visualização e são apresentados na Tabela 14.	70

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Descrição dos estudos que avaliaram os efeitos do treinamento de potência sobre a economia de corrida.....	33
TABELA 2. Descrição dos estudos que compararam os efeitos do treinamento de força e potência sobre a economia de corrida.....	35
TABELA 3. Características dos sujeitos	38
TABELA 4. Reprodutibilidade do tempo de prova, velocidade média e velocidade média em diferentes etapas de uma prova contrarrelógio de 10 km.	44
TABELA 5. Reprodutibilidade das medidas por ultrassonografia.....	54
TABELA 6. Programa de treinamento com exercícios pliométricos	56
TABELA 7. Valores de frequência cardíaca, percepção subjetiva de esforço e consumo de oxigênio a 10km/h, 12km/h e na velocidade média de prova (VM10).	59
TABELA 8. Tempo de prova, velocidade média e velocidade média nas diferentes etapas da corrida de 10km para os grupos controle e treinamento pliométrico.	61
TABELA 9. Tempo de prova, velocidade média e velocidade para cada etapa da corrida nos sujeitos responsivos ao treinamento pliométrico pré e pós tratamento experimental.	64
TABELA 10. Altura do salto vertical, tempo de contato com o solo, índice de força reativa e distância no salto horizontal nos grupo controle e treinamento pliométrico pré e pós tratamento experimental.	66
TABELA 11. Força dinâmica máxima e torque isométrico máximo nos grupos controle e treinamento pliométrico pré e pós tratamento experimental.	67
TABELA 12. Consumo máximo de oxigênio, pico de velocidade na esteira e velocidade do VO ₂ máx máximo nos grupos controle e treinamento pliométrico pré e pós tratamento experimental.	68
TABELA 13. Velocidade, consumo de oxigênio, frequência cardíaca e percepção subjetiva de esforço nos limiares ventilatórios 1 e 2 para os grupos controle e treinamento pliométrico pré e pós tratamento experimental.	69
TABELA 14. Rigidez do tendão patelar, alongamento máximo do tendão patelar e força isométrica máxima para os grupos controle e treinamento pliométrico pré e pós tratamento experimental.	70
TABELA 15. Medidas por ultrassonografia (espessura e ângulo de penação) nos músculos vasto lateral e gastrocnêmio e nos tendões patelar e calcâneo para os grupos controle e treinamento pliométrico pré e pós tratamento experimental.	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	5
2.1	Objetivo geral	5
2.2	Objetivos específicos	5
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	6
3.1	Estratégia de prova.....	6
3.2	Controle da estratégia de prova.....	10
3.2.1	A percepção subjetiva de esforço (PSE) e o afeto sobre a estratégia de prova.....	14
3.4	Variáveis fisiológicas e de desempenho no controle da estratégia de prova	18
3.4.1	Economia de corrida.....	19
3.4.2	Ciclo alongamento-encurtamento e a economia de corrida	20
3.4.2.1	Propriedades mecânicas e estruturais de músculos e tendões.....	22
3.5	Efeitos do treinamento de força e de potência sobre a economia de corrida.....	27
3.6	Efeitos do treinamento de potência envolvendo exercícios pliométricos sobre a economia de corrida.....	30
4	MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1	Amostra.....	37
4.2	Procedimentos Experimentais.....	38
4.3	Medidas antropométricas	40
4.4	Medição da economia de corrida	40
4.5	Corrida de 10km contrarrelógio.....	41
4.5.1	Reprodutibilidade do teste de corrida contrarrelógio de 10km	43
4.6	Testes de saltos	44
4.6.1	Salto vertical em profundidade	44
4.6.2	Cinco saltos horizontais com pernas alternadas.....	45
4.7	Teste de força dinâmica máxima (1RM) no exercício leg-press 45°	45
4.8	Teste de contração voluntária isométrica máxima.....	46
4.9	Teste progressivo máximo	46
4.10	Alongamento do tendão patelar	48
4.11	Determinação do stiffness do tendão patelar	49
4.12	Medidas por ultrassonografia.....	49
4.12.1	Espessura do músculo vasto lateral.....	50
4.12.2	Ângulo de penetração do músculo vasto lateral.....	50

4.12.3 Espessura e ângulo de penetração do músculo gastrocnêmio porção lateral	51
4.12.4 Espessura do tendão patelar	52
4.12.5 Espessura do tendão calcâneo.	53
4.12.6 Reprodutibilidade das medidas por ultrassonografia	54
4.13 Treinamento pliométrico para membros inferiores	55
4.14 Análise estatística	56
5 RESULTADOS	58
5.1 Economia de corrida	58
5.2 Estratégia de prova e desempenho em corrida de 10km contrarrelógio	59
5.3 Percepção subjetiva de esforço e afeto durante corrida de 10km contrarrelógio	61
5.4 Efeitos das alterações na economia de corrida sobre a estratégia de prova e desempenho.	63
5.5 Efeitos das alterações na economia de corrida sobre a percepção subjetiva de esforço e o afeto	64
5.6 Salto em profundidade e cinco saltos horizontais com pernas alternadas	65
5.7 Força dinâmica máxima e torque isométrico máximo (CVIM).....	66
5.8 Teste progressivo máximo	67
5.9 Stiffness do tendão patelar	69
5.10 Medidas por ultrassonografia.....	71
6 DISCUSSÃO	72
6.1 Estratégia de prova e desempenho	72
6.2 Alterações na economia de corrida e a estratégia de prova	74
6.3 Treinamento pliométrico e economia de corrida	78
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	85
ANEXO.....	102

1 INTRODUÇÃO

Durante provas de resistência de média e longa duração, os competidores ajustam constantemente a velocidade com o objetivo de terminar a prova o mais rápido possível (ABBISS; LAURSEN, 2008; JOSEPH et al., 2008; LIMA-SILVA et al., 2010). Coletivamente esses ajustes da velocidade são denominados como “pacing strategy” ou estratégia de prova (ABBISS; LAURSEN, 2008; FOSTER et al., 2004; LIMA-SILVA et al., 2010; ROELANDS et al., 2013). A estratégia de prova tem sido apontada como um fator decisivo para o sucesso dos atletas de modalidades esportivas de caráter cíclico (ABBISS; LAURSEN, 2008; FOSTER et al., 1994; TUCKER; LAMBERT; NOAKES, 2006).

Diferentes estratégias têm sido observadas, sendo essas classificadas, conforme a distribuição da velocidade ao longo do evento (ABBISS; LAURSEN, 2008; CARMO et al., 2012a). A melhor estratégia é aquela que possibilita ao atleta terminar a corrida com o menor tempo ou com a melhor colocação possível, utilizando as suas reservas fisiológicas adequadamente e evitando uma possível fadiga prematura (NOAKES, 2007; NOAKES; ST CLAIR GIBSON, 2004; TUCKER; NOAKES, 2009; ULMER, 1996). Em eventos com duração maior que dois minutos as estratégias de prova com padrão variável parecem ser a melhor escolha (ABBISS; LAURSEN, 2008; STONE et al., 2011). Nesse tipo de estratégia a distribuição da velocidade não segue um padrão linear bem definido ao longo da prova. O que se observa é um início rápido, realizado em altas velocidades, seguido por uma redução gradual da velocidade, até próximo ao final da prova, quando ocorre um novo aumento da velocidade, caracterizando o *sprint*-final (ABBISS; LAURSEN, 2008; CARMO et al., 2012a).

De fato, Tucker, Lambert e Noakes (2006) analisaram as estratégias utilizadas pelos recordistas mundiais em corridas de diferentes distâncias entre os anos de 1921 a 2004 e observaram que estratégias em padrão de *U* foram utilizadas pela maioria dos recordistas mundiais em provas de 5000m e 10000m. Um dos possíveis benefícios da estratégia de padrão variável sobre o desempenho estaria relacionado ao menor tempo gasto na fase de aceleração, ou seja, os atletas percorrem os primeiros quilômetros da prova em menor tempo (ATKINSON; PEACOCK; LAW, 2007; GOSZTYLA et al., 2006). Entretanto, esse tipo de estratégia deve ser utilizada com cautela, visto que velocidades muito elevadas no início podem levar a maiores alterações fisiológicas e metabólicas, instalando um quadro de fadiga prematura, o que comprometerá o restante da prova e, conseqüentemente, o desempenho final (DE KONING et al., 2011; GOSZTYLA et al., 2006; TUCKER, 2009). Assim, tanto a

velocidade inicial, quanto os ajustes realizados durante uma corrida, são extremamente importantes para o desempenho, o que torna relevante o melhor entendimento sobre as variáveis e mecanismos envolvidos no seu controle (DE KONING et al., 2011; TUCKER, 2009; TUCKER et al., 2006).

Nesse sentido, Lima-Silva et al. (2010) investigaram quais variáveis fisiológicas e de desempenho poderiam influenciar a estratégia de prova em uma corrida simulada de 10km. Foi observado que corredores com melhor desempenho utilizavam estratégia de prova mais agressiva, com velocidades nos primeiros 400m 8% maiores do que a velocidade média. A capacidade do atleta em realizar esse tipo de estratégia foi associada ao maior pico de velocidade na esteira (PV), ao menor acúmulo de lactato sanguíneo e a melhor economia de corrida (EC). De forma semelhante, Carmo et al. (2011) observaram que após a indução de um início rápido com velocidade 6% maior do que a média do primeiro quilômetro a capacidade de manutenção da velocidade durante a segunda parte de uma prova de 10km foi associada ao maior PV. O maior PV estaria associado a fatores anaeróbios e neuromusculares, sendo esses influenciados pela EC (GREEN; PATLA, 1992; PAAVOLAINEN; NUMMELA; RUSKO, 2000). Assim, corredores mais econômicos são capazes de manter maiores intensidades de esforço por longos períodos de tempo e atingir maior PV com menores distúrbios metabólicos e fisiológicos (FAULKNER; PARFITT; ESTON, 2008; HARGREAVES, 2008; NOAKES, 2007; ZAMPARO et al., 2001). Com isso, podemos supor que alterações na EC poderiam influenciar a estratégia de prova utilizada pelo atleta.

O papel da EC sobre o desempenho de corredores tem sido bem demonstrado na literatura (FOSTER; LUCIA, 2007; SAUNDERS et al., 2004), sendo sugerido que a melhora da EC em 5% pode aumentar o desempenho da corrida em 3,8% (DIPRAMPERO et al., 1993). Entretanto, os efeitos da EC sobre a estratégia de prova ainda não foram demonstrados até o presente momento.

A influência da EC sobre a estratégia de prova poderia ser mediada por alterações na PSE e/ou nas sensações afetivas decorrentes da menor demanda fisiológica durante a corrida. De fato, a PSE e as sensações afetivas (prazer/desprazer) vêm sendo considerados ferramentas importantes no controle da estratégia de prova, sendo ambas diretamente influenciadas por fatores fisiológicos (NOAKES, 2004a; PIRES et al., 2011; RENFREE et al., 2012; TUCKER, 2009). Enquanto a PSE tem sido considerada uma representação consciente de um conjunto de fatores fisiológicos e psicológicos (BORG, 1982a), as sensações afetivas seriam a representação do estado de sentimento do indivíduo em determinada situação, ou seja, o prazer ou o desconforto na realização da atividade (BADEN et al., 2005; BARON et al., 2011;

RENFREE et al., 2012). Assim, a PSE forneceria informações sobre como os indivíduos estão se sentindo e o afeto informaria o que eles estão sentindo frente a essas percepções (HARDY; REJESKI, 1989; RENFREE et al., 2014a; RENFREE et al., 2012).

Durante uma corrida a estratégia de prova seria controlada pela comparação constante entre a PSE momentânea com uma "PSE esperada" para aquele determinado momento. A PSE esperada é baseada em experiências prévias e na distância remanescente para o término da prova (TUCKER, 2009; TUCKER; NOAKES, 2009). Com isso, o atleta ajusta a intensidade do esforço para atingir os máximos valores de PSE próximo ao final da corrida (MARCORA, 2009; MARCORA; BOSIO; DE MORREE, 2008; RENFREE et al., 2012; TUCKER, 2009). Adicionalmente, os ajustes na intensidade do esforço sofreriam influência também das sensações afetivas. Sensações afetivas positivas, ou seja, maior prazer na realização da tarefa, estariam associadas ao aumento na intensidade do esforço (BARON et al., 2011) e à realização de estratégias de provas mais agressivas (RENFREE et al., 2012). O prazer na execução da tarefa aumentaria a motivação e a disposição do atleta a correr um maior risco para alcançar o seu objetivo. Por outro lado, sensações afetivas negativas estariam associadas à falta de motivação e a redução na intensidade do esforço (RENFREE et al., 2014a). Uma vez que a PSE e o afeto parecem ser influenciadas por fatores fisiológicos, alterações na EC poderiam de alguma maneira poderia alterar uma ou ambas as variáveis durante a corrida e consequentemente a estratégia de prova utilizada pelo atleta.

Dentre as intervenções propostas para melhorar a EC, o treinamento de potência envolvendo exercícios pliométricos parece ser uma das mais eficazes, sendo os seus efeitos bem demonstrados em corredores de média e longa distância, após períodos de seis a 10 semanas de treinamento (BERRYMAN; MAUREL; BOSQUET, 2010; PAAVOLAINEN et al., 1999a; SAUNDERS et al., 2006; SPURRS; MURPHY; WATSFORD, 2003). A melhora na EC parece ser decorrente das adaptações mecânicas e estruturais em músculos e tendões o que parece alterar o *stiffness* músculo-tendão e a arquitetura muscular (BLAZEIVICH et al., 2003; BONACCI et al., 2009; NUMMELA et al., 2008; NUMMELA et al., 2006), que por sua vez estão associadas à maior habilidade dos atletas na utilização do ciclo alongamento-encurtamento (CAE) (ARAMPATZIS et al., 2006).

O CAE corresponde a ações musculares cíclicas em que os músculos ativados são primeiramente alongados e em seguida rapidamente encurtados, ou seja, uma ação excêntrica é seguida rapidamente por uma ação concêntrica. Essa rápida transição entre as ações permite a melhor utilização da energia elástica armazenada durante a fase excêntrica do movimento na fase concêntrica, o que reduz o custo metabólico da atividade. Assim, a melhor utilização da

energia elástica após o treinamento pliométrico permitiria ao atleta correr para uma mesma intensidade de esforço utilizando menos energia metabólica, tornando-o mais econômico (NICOL; AVELA; KOMI, 2006; PAAVOLAINEN et al., 1999a; PAAVOLAINEN et al., 1999b; SPURRS; MURPHY; WATSFORD, 2003).

Como podemos observar, os efeitos positivos do treinamento pliométrico sobre a melhora da EC em corredores já está demonstrado na literatura. Entretanto, os efeitos da melhora na EC sobre a estratégia de prova, outro importante fator determinante para o desempenho, não foram demonstrados até o presente momento. Assim, a hipótese do presente estudo foi que a melhora na EC, induzida pelo treinamento pliométrico, pode alterar a PSE e o afeto, e consequentemente a estratégia de prova utilizada pelo atleta.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Verificar se a mudança na EC induzida pelo treinamento pliométrico altera a estratégia de prova e o desempenho durante uma corrida de 10km.

2.2 Objetivos específicos

Verificar os efeitos de alterações na EC sobre:

- a) a percepção subjetiva de esforço (PSE),
- b) o afeto (prazer e desprazer),
- c) o desempenho em uma prova de 10km.

Avaliar os efeitos do treinamento pliométrico sobre:

- a) a economia de corrida (EC),
- b) o consumo máximo de oxigênio (VO_2max),
- c) o pico de velocidade na esteira (PV),
- d) a velocidade do VO_2 máximo (vVO_2max),
- e) o desempenho no ciclo alongamento-encurtamento (CAE),
- f) a potência e a força muscular,
- g) a rigidez do tendão patelar,
- h) a estrutura e morfologia de músculos e tendões.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Estratégia de prova

Durante corridas de resistência, principalmente em provas de média e longa duração, os competidores ajustam constantemente a velocidade com o objetivo de terminar a prova o mais rápido possível, evitando uma possível fadiga prematura (ABBISS; LAURSEN, 2008; JOSEPH et al., 2008; LIMA-SILVA et al., 2010). As variações da velocidade ou potência ao longo da prova são denominadas como "pacing" (ROELANDS et al., 2013), sendo o padrão geral dessas variações durante a prova, denominadas como "pacing strategy" ou estratégia de prova. A estratégia de prova tem sido apontada como um fator decisivo para o sucesso dos atletas, sendo analisada em diferentes modalidades esportivas de caráter cíclico (ABBISS; LAURSEN, 2008; FOSTER et al., 1994; RENFREE et al., 2012; ROELANDS et al., 2013).

As estratégias de prova têm sido classificadas basicamente em quatro diferentes tipos, conforme a distribuição da velocidade ao longo do evento: 1) estratégia constante - o atleta mantém (ou altera pouco) a velocidade, 2) estratégia negativa ou decrescente - o atleta inicia em alta velocidade e diminui durante a prova, 3) estratégia positiva ou crescente - o atleta inicia em velocidade baixa e aumenta gradualmente até o final e 4) estratégia variável - a distribuição da velocidade não segue um padrão linear bem definido ao longo de toda a prova (CARMO et al., 2012a). Dentro da estratégia variável podemos ainda observar diferentes comportamentos, e entre eles o padrão em *U*, em *J* e em *J-invertido* são os mais comuns. Nesses casos, ocorre um início rápido, realizado em altas velocidades, seguido por uma redução gradual da velocidade, até aproximadamente 90% da distância estipulada e próximo do final da corrida, ocorre um novo aumento da velocidade, caracterizando o *sprint-final* (ABBISS; LAURSEN, 2008; FOSTER et al., 2004; FOSTER et al., 1994; TUCKER; LAMBERT; NOAKES, 2006). As diferentes estratégias de prova podem ser observadas na Figura 1.

FIGURA 1. Diferentes estratégias de prova utilizadas durante corridas de média e longa duração (adaptado de CARMO et al., 2012a).

A melhor estratégia de prova a ser utilizada durante um evento ainda é um tópico controverso e parece ser dependente de uma série de fatores como a modalidade esportiva, a distância a ser percorrida (ABBISS; LAURSEN, 2008; DE KONING et al., 2011; FOSTER et al., 2004; RENFREE; ST CLAIR GIBSON, 2013; TUCKER; LAMBERT; NOAKES, 2006), a presença de adversários (BATH et al., 2012; RENFREE et al., 2014b) e as características fisiológicas e psicológicas do atleta (HAUSSWIRTH et al., 2010; LE MEUR et al., 2009). Com isso, a melhor estratégia de prova será sempre aquela que possibilite ao atleta terminar a corrida com o menor tempo ou na melhor colocação possível, utilizando as suas "reservas fisiológicas" adequadamente para evitar uma possível fadiga prematura (NOAKES, 2007;2004b; TUCKER, 2009; ULMER, 1996).

Em eventos mais curtos (< 2min) a melhor estratégia de prova parece ser a estratégia negativa ou decrescente, geralmente caracterizada pelo *all-out* (ABBISS; LAURSEN, 2008). Devido a curta duração do evento, o atleta não tem muitas oportunidades para recuperar

possíveis erros ou o tempo perdido no início da prova, assim, ele realiza o seu máximo durante todo o evento. Com isso, altas velocidades são observadas no início da prova, seguidas por queda gradual até o final (FOSTER et al., 1994). Por outro lado, em eventos mais longos ($> 2\text{min}$) o atleta precisa distribuir corretamente a intensidade do esforço ao longo do prova para não atingir a fadiga antes de completar a distância estipulada. Nesse caso, as estratégias de prova com padrão variável parecem ser a melhor escolha. De fato, esse tipo de estratégia tem sido observado em diferentes modalidades esportivas de média e longa duração (BADEN et al., 2005; TUCKER, 2009).

Tucker, Lambert e Noakes (2006) analisaram as estratégias utilizadas pelos recordistas mundiais em corridas de diferentes distâncias, entre os anos de 1921 a 2004. Os autores observaram que estratégias em padrão de *U*, foram utilizadas pela maioria dos recordistas mundiais em provas de 5000m e 10000m. Posteriormente, Lima-Silva et al. (2010) compararam a estratégia de prova utilizada durante uma corrida de 10km entre atletas de diferentes níveis (alto e baixo desempenho) classificados com base nos tempos de corrida. Foi observado que ambos os grupos utilizaram a estratégia variável em padrão de *U*. No entanto, os atletas de alto desempenho utilizaram uma estratégia de prova mais agressiva, com velocidades iniciais em torno de 8% maiores do que a velocidade média da prova, comportamento não observado nos atletas de baixo desempenho, em que, apesar da estratégia com padrão semelhante, as velocidades iniciais não foram significativamente maiores do que a velocidade média de prova. Assim, o estudo publicado por Lima-Silva et al. (2010) veio ao encontro dos resultados obtidos por Tucker, Lambert e Noakes (2006), sugerindo o benefício da adoção de estratégias variáveis com início rápido em provas de média e longa duração.

A melhora de desempenho observada quando a estratégia de prova com início rápido é utilizada tem sido relacionada ao menor tempo gasto na fase de aceleração, ou seja, os atletas percorrem os primeiros quilômetros da prova em menor tempo. Quando o início rápido não é realizado, parece não ser possível compensar o tempo perdido no restante da prova (ATKINSON et al., 2007; GOSZTYLA et al., 2006; LIMA-SILVA et al., 2010). Adicionalmente, os efeitos benéficos da estratégia com início rápido poderiam estar associados a alterações fisiológicas como o aumento da velocidade da cinética do consumo de oxigênio (VO_2) (BISHOP; BONETTI; DAWSON, 2002; FOSTER et al., 2003).

Para que altas velocidades sejam desenvolvidas no início da corrida, um maior número de fibras musculares e uma maior proporção de fibras do tipo II devem ser recrutadas. O maior recrutamento muscular levará a maior utilização de ATP, alterando a razão ATP/ADP no início do exercício, sendo o ATP ressintetizado predominantemente pelo sistema ATP/CP.

Tanto a maior utilização do sistema ATP/CP quanto às alterações na razão ATP/ADP seriam responsáveis pela aceleração do sistema oxidativo, reduzindo o tempo das fases I e II da cinética *on* do VO_2 , alterando assim, a cinética e o déficit de oxigênio durante a prova (BISHOP; BONETTI; DAWSON, 2002; HANON et al., 2008). Essas alterações permitiriam ao atleta atingir o *steady-state* mais rápido, gerando um menor estresse metabólico (BISHOP; BONETTI; DAWSON, 2002; HANON et al., 2008). No entanto, esses efeitos foram observados em provas mais curtas (< 2min), sendo os resultados observados em provas mais longas ainda controversos. Nesses casos, se as velocidades iniciais forem muito altas elas poderiam induzir um grande desequilíbrio metabólico, o que prejudicaria o atleta durante o restante do evento, impossibilitando a manutenção da velocidade e resultando em queda do desempenho (CARMO et al., 2012b; DE KONING et al., 2011; GOSZTYLA et al., 2006).

Os estudos que avaliaram as estratégias com início rápido têm apresentado resultados controversos. Abbiss et al. (2009) verificaram os efeitos da indução de uma estratégia com início rápido em ciclistas durante uma prova contrarrelógio de 20km. Os autores observaram que o início rápido poderia prejudicar o desempenho, sugerindo que uma estratégia mais conservadora, com padrão mais próximo a estratégia de velocidade constante, seria a melhor opção. Entretanto, Swart et al. (2009b) mostraram melhora no desempenho de ciclistas em um contrarrelógio de 40km quando estratégias mais agressivas, com maiores velocidades nas fases iniciais foram adotadas. Resultados semelhantes ao de Swart et al. (2009) foram observados por Gosztyla et al. (2006) com uma amostra de corredoras. Os autores manipularam a estratégia de prova durante uma corrida de 5km em esteira. As atletas foram induzidas a realizar os primeiros 1,63km em três diferentes velocidades: a) equivalente ao seu melhor tempo de prova b) 3% mais rápido ou c) 6% mais rápido, sendo essas baseadas na velocidade média realizada para a mesma distância no seu melhor tempo pessoal. Quando as atletas iniciaram 6% mais rápido foi observada uma redução de 13 segundos no tempo de prova em comparação ao início com velocidades 3% maiores e de 32 segundos comparado à estratégia constante, sugerindo que estratégias com início rápido poderiam melhorar o desempenho em corridas de 5km.

Um dado bastante interessante no estudo de Gosztyla et al. (2006) que poderia ajudar a explicar as discrepâncias observadas quando o início rápido é induzido em provas mais longas foi a individualidade nas velocidades utilizadas. Das 11 atletas analisadas, oito melhoraram o desempenho com velocidades 6% maiores e as outras três atletas melhoraram o desempenho quando velocidades 3% maiores foram aplicadas, sugerindo que o início rápido deve ser

individualizado e a utilização de um início rápido generalizado poderia gerar respostas diferentes sobre o desempenho.

Nesse sentido, Carmo et al. (2012b) analisaram os efeitos da indução de estratégia de prova com início rápido sobre o desempenho em uma corrida de 10km. Com base no estudo de Gosztyla et al. (2006), os atletas correram o primeiro quilômetro em velocidades 6% maiores do que a velocidade média inicial para a mesma distância desenvolvida em uma prova com estratégia livre. Não foram observadas diferenças no desempenho entre a estratégia livre e a estratégia com o início rápido quando todos os atletas foram analisados em conjunto. No entanto, quando os dados foram analisados individualmente foi observado que oito dos 15 corredores melhoraram o desempenho (~2,2%) com a indução da estratégia de início rápido. Entretanto, os outros sete corredores pioraram o desempenho (~3,2%). Esses resultados confirmam a necessidade de individualização da estratégia de prova com início rápido, uma vez que a mesma intensidade relativa para o início da prova parece gerar diferentes respostas sobre o desempenho.

Uma vez que a estratégia de prova tem sido mostrada como um fator importante para o desempenho (TUCKER; LAMBERT; NOAKES, 2006) e a individualização da estratégia parece ser fundamental (CARMO et al., 2012; GOSZTYLA et al., 2006), o melhor entendimento dos mecanismos envolvidos nos ajustes da intensidade do esforço durante a corrida se faz necessário.

3.2 Controle da estratégia de prova

Diferentes variáveis fisiológicas, psicológicas e táticas têm sido sugeridas por terem importante participação nos ajustes da estratégia de prova (RENFREE et al., 2012). Nesse sentido, diferentes modelos foram propostos para explicar esses ajustes, sendo inicialmente desenvolvidos para explicar a fadiga durante o exercício e posteriormente aplicados aos ajustes da intensidade do esforço durante provas de média e longa duração (ABBISS; LAURSEN, 2008; AMANN, 2011; MARCORA; STAIANO, 2010; NOAKES, 2007; ROELANDS et al., 2013). Dentre os modelos propostos, três deles vem recebendo maior destaque na literatura, o modelo do *feedback* inibitório (AMANN, 2011), o modelo psicobiológico (MARCORA, 2009; MARCORA; STAIANO, 2010) e o modelo do governador central (NOAKES, 2007;1988;2004b; NOAKES et al., 2004; TUCKER, 2009).

O modelo proposto por Amann (2011) e denominado como *feedback* inibitório propõe a existência de um limiar de fadiga muscular periférica. Esse limiar não representaria o ponto total de depleção dos estoques energéticos musculares, mas sim um ponto em que essas reservas atingiriam um estado crítico, o qual poderia colocar em risco o seu funcionamento adequado. Assim, quando esse limiar é atingido informações periféricas seriam enviadas ao sistema nervoso central (SNC) e o *drive motor* seria reduzido com objetivo de diminuir a intensidade do esforço, preservando as reservas fisiológicas adequadas (AMANN, 2011; AMANN et al., 2008; AMANN et al., 2009). Com isso, o esforço seria controlado em decorrência de alterações fisiológicas e metabólicas periféricas, sem nenhuma ou pouca contribuição de fatores psicológicos.

Por outro lado, o modelo psicobiológico proposto por Marcora (2009) e Marcora e Staiano (2010) sugere que a intensidade do esforço seria controlada por cinco fatores: 1) percepção de esforço, 2) motivação potencial, que estaria relacionada ao máximo esforço que um indivíduo deseja fazer para obter o sucesso na tarefa, 3) conhecimento da distância/duração a ser percorrida, 4) conhecimento da distância/duração restante e 5) experiências prévias e memória da percepção do esforço frente a variação da intensidade. Esses fatores seriam utilizados pelo indivíduo no controle consciente da intensidade do esforço para que altos níveis de PSE não sejam atingidos antes do término da distância a ser percorrida. Uma das principais características desse modelo é o baixo papel atribuído às informações aferentes periféricas. Enquanto os outros modelos (AMANN, 2011; AMANN et al., 2008; AMANN et al., 2009; NOAKES; ST CLAIR GIBSON; LAMBERT, 2005; ULMER, 1996) acreditam que a PSE seja fortemente influenciada por essas informações aferentes, o modelo psicobiológico propõe que a PSE seria gerada pela maior ativação do córtex motor, ou seja, num nível mais central. Assim, conforme a duração ou intensidade do esforço aumentam, uma maior ativação do córtex motor é necessária para manter o trabalho muscular. Essa informação seria enviada as áreas sensoriais do cérebro por cópias eferentes ou descargas corolárias, aumentando a PSE.

Por fim, o modelo denominado como Governador Central, proposto por Noakes (2007;1988), e baseado no modelo anterior da tele-antecipação de Ulmer (1996), atribui os ajustes da intensidade do esforço tanto às informações centrais quanto às informações periféricas, tendo como principal componente o fato da fadiga não ser apenas um evento físico, mas também um evento emocional controlado pelo cérebro (ST CLAIR GIBSON et al., 2003). Dessa forma, as informações aferentes vindas de diversas regiões periféricas (músculos, sistema cardiovascular, sistema respiratório, temperatura corporal, entre outras),

seriam enviadas ao SNC, que por sua vez, identificaria essas informações, controlando a intensidade do esforço para evitar que esses sistemas atinjam um possível nível de catástrofe fisiológica. Associada às informações periféricas, os ajustes sobre a intensidade do esforço sofreriam interferência direta de mecanismos centrais, gerados por fatores como as experiências prévias do atleta, o conhecimento da distância remanescente, a motivação, as sensações afetivas e o estado de humor. Nesse sentido, durante o exercício ocorreria um controle constante da intensidade do esforço, sendo esse estabelecido com base em períodos de certeza e de incerteza. Sempre que a intensidade de esforço é alterada ocorre um período de incerteza no qual o indivíduo não sabe ao certo quais serão as respostas fisiológicas decorrentes dessa alteração (ST CLAIR GIBSON et al., 2006; ST CLAIR GIBSON; NOAKES, 2004). Essas respostas sistêmicas são enviadas ao SNC que as identifica, gerando os períodos de certeza. Dentro desses períodos de certeza, com influência de fatores psicológicos, experiências prévias e a distância restante a ser percorrida, uma nova atitude será tomada: aumentar, reduzir ou manter a intensidade do esforço, o que gera um novo ciclo de incerteza. Conforme a exercício avança, os períodos de incerteza e certeza se tornam cada vez mais curtos, até que o final da prova se aproxime e o indivíduo perceba que pode realizar o aumento da intensidade sem correr o risco de entrar em fadiga prematura, momento em que ocorre o *sprint-final* (ST CLAIR GIBSON et al., 2006; ST CLAIR GIBSON; NOAKES, 2004).

No entanto, esse modelo vem sofrendo fortes críticas, principalmente por afirmar que o SNC controlaria o esforço para manter níveis adequados de reservas fisiológicas. Por exemplo, Hopkins (2009) afirma que um modelo no qual animais são dotados de capacidades que eles não poderiam utilizar devido a um possível mecanismos de defesa antecipatória não seria um modelo muito inteligente para a sobrevivência. Em uma situação na qual o indivíduo é perseguido por um predador, não faria sentido reduzir a intensidade do esforço para manter as reservas fisiológicas, uma vez que isso acarretaria na sua captura. Nesse sentido, durante o exercício a intensidade do esforço seria reduzida não por mecanismos de proteção antecipatórios, mas por sensações de desconforto intoleráveis causadas pelas altas intensidades (HOPKINS, 2009).

Como podemos observar, o controle da intensidade do esforço durante o exercício é motivo de grande interesse e controvérsia na literatura científica. Grande parte dessa controvérsia poderia ser atribuída ao estudo de um mecanismo extremamente complexo que envolve interações centrais e periféricas por meio de fatores isolados ou modelos teóricos que analisam esses fatores por partes. Nesse caso, foi proposto que um ponto de vista mais

gestáltico devesse ser utilizado (PERREY et al., 2010). De acordo com a teoria gestáltica, não podemos conhecer o todo pelas suas partes, uma vez que o todo seria um terceiro elemento com características diferentes e próprias (WAGEMANS et al., 2012). Aplicando esse conceito ao controle da intensidade do esforço, não podemos entender esses ajustes apenas pelos diferentes sistemas ou variáveis analisadas isoladamente, pois quando essas variáveis trabalham juntas formam um terceiro elemento com características próprias e individuais. Nesse sentido, uma abordagem mais ampla para tentar entender o controle da intensidade do esforço foi proposta baseada em conceitos clássicos de tomada de decisão (RENFREE et al., 2014a).

A tomada de decisão pode ser definida como um processo de escolhas a partir de um conjunto de opções, sendo essas racionais ou heurísticas, envolvendo uma variedade de graus em correr riscos (RENFREE et al., 2014a). Quando aplicada ao esporte, a tomada de decisão envolve processos dinâmicos internos e externos. Os processos internos estariam relacionados ao comportamento do atleta frente às alterações fisiológicas, enquanto os processos externos estariam relacionados às mudanças no ambiente que o cerca (JOHNSON, 2006; RENFREE et al., 2014a). Assim, o atleta teria que se basear em uma série de processos dinâmicos internos e externos que devem ser identificados e interpretados para que a decisão sobre os níveis de desempenho atingidos seja tomada.

Por exemplo, antes de uma corrida o atleta determinará o seu objetivo e traçará uma abordagem estratégica global para alcançá-lo. Essa estratégia prévia será baseada em experiências anteriores, fatores ambientais e conhecimento das suas condições físicas atuais (DE KONING et al., 2011). Ao longo da corrida o atleta receberá mais uma série de informações decorrentes dos tempos parciais, da distância remanescente, de alterações climáticas, das informações periféricas quanto ao seu estado fisiológico e do seu posicionamento em relação aos seus oponentes (NOAKES, 2012). Com base nessas novas informações, tomará decisões fazendo mudanças na estratégia traçada originalmente (ST CLAIR GIBSON et al., 2013). No entanto, essas decisões dependem ainda da relação entre o risco e a recompensa. O risco estaria associado às alterações fisiológicas e as sensações de desconforto enquanto a recompensa pode ser associada a questões financeiras ou pessoais, como bater o seu próprio recorde na prova. Assim, o risco ao qual o atleta está disposto a correr para atingir os seus objetivos está diretamente relacionado à recompensa que será recebida por isso (RENFREE et al., 2014a). Com isso, o controle da estratégia de prova parece não ser atribuído apenas a alterações fisiológicas ou psicológicas, mas a um complexo modelo de tomada de decisão diretamente relacionado à relação risco e recompensa.

Nesse contexto, estudar os ajustes da intensidade de esforço durante o exercício é um processo extremamente complicado e dependente de uma série de fatores. Para simplificar esse processo algumas ferramentas têm sido utilizadas, entre elas a escala de PSE proposta por Borg (1982a;1982b). De fato, a PSE momentânea tem sido considerada por representar de maneira consciente a integração de uma série de fatores, envolvendo sinais fisiológicos e psicológicos (BORG, 1982a). Por outro lado, assumir que a escala de PSE representaria todas as sensações de um indivíduo durante o exercício seria simplificar demasiadamente o processo de tomada de decisão (HUTCHINSON; TENENBAUM, 2006). Com isso, a utilização de outra escala, denominada como escala de afeto, vêm sendo sugerida (RENFREE et al., 2012). O afeto seria a representação do estado de sentimento do indivíduo em determinada situação, o prazer ou desprazer na realização da atividade (HARDY; REJESKI, 1989; MICKLEWRIGHT et al., 2010). Assim, enquanto a PSE forneceria informações sobre como os indivíduos estão se sentindo, o afeto informaria o que eles estão sentindo frente a essas percepções (HARDY; REJESKI, 1989).

3.2.1 A percepção subjetiva de esforço (PSE) e o afeto sobre a estratégia de prova.

A escala de PSE foi desenvolvida com base em alterações fisiológicas como a frequência cardíaca e a concentração de lactato sanguíneo. Atualmente a PSE é considerada por representar conscientemente um conjunto de sensações envolvendo tanto o estado fisiológico quanto o psicológico do atleta (BORG, 1982a; MARCORA, 2009; NOAKES, 2004a). Nesse contexto, apesar da sua simplicidade, passou a ser considerada uma ferramenta importante no estudo do controle da intensidade do esforço durante o exercício.

Durante uma corrida o estado atual do atleta será refletido pela PSE momentânea (DE KONING et al., 2011; TUCKER, 2009). Entretanto, para que essa seja interpretada corretamente, o atleta deve compará-la com uma PSE esperada para aquele momento, sendo essa gerada baseada nas experiências do indivíduo. Assim, durante a corrida, o atleta compara constantemente a PSE momentânea com a PSE esperada, ajustando a intensidade do esforço para atingir os máximos valores de PSE próximo ao final da corrida (MICKLEWRIGHT et al., 2010; TUCKER, 2009; TUCKER; NOAKES, 2009). A representação esquemática dos ajustes da intensidade do esforço baseados na PSE pode ser observada na Figura 2.

FIGURA 2. Representação esquemática dos ajustes da intensidade do esforço baseados na percepção subjetiva de esforço. A e B– Respostas fisiológicas aferentes geradas por alterações fisiológicas decorridas do exercício modulam a PSE momentânea. C – O conhecimento sobre a distância ou duração do exercício associada às experiências adquiridas previamente vão modular a PSE esperada para determinado momento. D – A comparação constante entre a PSE momentânea e a PSE esperada geram respostas eferentes centrais controlando a intensidade do esforço para evitar a fadiga prematura (CARMO et al., 2012a).

O papel da PSE sobre os ajustes da intensidade de esforço pode ser observado durante uma prova de 10km. As altas velocidades iniciais observadas nesse tipo de prova seriam decorrentes da baixa PSE momentânea, gerada pela associação de um baixo estresse fisiológico e da motivação em atingir o objetivo proposto. Após os primeiros metros de corrida, informações aferentes fisiológicas junto com as alterações psicológicas decorrentes do esforço realizado, aumentam a PSE momentânea, o que induz o atleta a reduzir a sua velocidade para equilibrar a PSE momentânea com a PSE esperada. Ao longo da corrida o atleta controla a sua PSE evitando que ela atinja níveis muito altos antes do previsto. Assim, conforme a PSE vai aumentando a velocidade da corrida vai sendo reduzida (CARMO et al., 2011; DE KONING et al., 2011; TUCKER, 2009). No entanto, próximo ao final da prova, quando aproximadamente 90% da distância tenha sido percorrida, ocorre um novo aumento da velocidade, mesmo com os altos valores de PSE. Esse aumento da velocidade estaria

associado ao ponto em que o atleta se sente confiante para aumentar velocidade, sabendo que será capaz de completar a distância determinada. Esse ponto pode ser determinado por uma escala construída pelo produto da PSE momentânea e da distância restante de prova, denominada como escala de perigo (DE KONING et al., 2011). Assim, quanto menor a distância restante, menor o risco de fadiga prematura. Esse risco vai sendo reduzido até atingir baixos valores na escala e perigo, momento em que ocorre o aumento da velocidade.

Carmo et al. (2011) analisaram a relação entre a estratégia de prova, a PSE e o risco de fadiga durante uma corrida de 10km. Os autores observaram uma forte correlação negativa entre a PSE e a velocidade desenvolvida durante uma corrida de 10km ($r = -0,8$, $p = 0,006$). No entanto, a correlação entre a PSE e a velocidade foi quebrada próximo ao final da corrida, quando mesmo com altos valores de PSE os atletas aumentaram a velocidade. Com isso, foi sugerido que durante uma corrida de 10km a estratégia de prova é ajustada conforme o aumento da PSE. No entanto, o *sprint*-final parece ser determinado pelo risco de fadiga prematura.

Como podemos observar a PSE tem importante papel no controle da estratégia de prova. No entanto, a PSE representaria apenas uma parte desse processo, ou seja, o estado atual do atleta em determinado momento da prova (como ele está se sentindo) mas não reflete as sensações frente a percepção da relação entre prazer e desprazer na realização da tarefa. Assim, para a mesma PSE alguns atletas podem perceber a situação como prazerosa e outros como desprazerosa (WATSON; CLARK, 1997). A determinação do estado de afeto parece ter um importante papel no processo de tomada de decisão e no controle da estratégia de prova (MICKLEWRIGHT et al., 2010; RENFREE et al., 2012; WATSON; CLARK, 1997), sendo sugerida como um regulador na intensidade do esforço mais importante que a própria PSE (RENFREE et al., 2012).

Sensações afetivas positivas estão associadas ao aumento na intensidade do esforço e à realização de estratégias de provas mais agressivas (BARON et al., 2011; RENFREE et al., 2014a; RENFREE et al., 2012). O prazer na execução da tarefa aumentaria a motivação e a disposição do atleta a correr maior risco para alcançar os seus objetivos. Por outro lado, sensações afetivas negativas estão associadas à falta de motivação e a redução na intensidade do esforço (BARON et al., 2011; RENFREE et al., 2014a; RENFREE et al., 2012). As sensações afetivas positivas e negativas parecem estar diretamente associadas à relação risco e recompensa no processo de tomada de decisão. Durante uma corrida, se a recompensa é percebida como maior do que o risco então a resposta do afeto é positiva. No entanto, se o

risco é percebido como maior do que a recompensa à resposta afetiva é negativa (RENFREE et al., 2014a). A representação esquemática dos ajustes da intensidade do esforço baseados no afeto pode ser observada na Figura 3.

FIGURA 3. Representação esquemática dos ajustes da intensidade do esforço baseados no afeto. A e B - Relação risco e benefício sobre sensações afetivas positivas. C e D - Relação risco e benefício sobre as sensações afetivas negativas.

Quando os indivíduos permanecem determinados a alcançar os seus objetivos, mas a sua capacidade é reduzida devido ao desgaste fisiológico, sentimentos negativos de afeto são observados (BARON et al., 2011; RENFREE et al., 2014a). A relação risco e recompensa e o estado de afeto durante a atividade pode ser influenciada pelas condições fisiológicas do indivíduo (RENFREE et al., 2012). Assim, grandes alterações fisiológicas gerariam alta sensação de desconforto, o que aumentaria o risco e por sua vez reduziria o afeto e consequentemente a intensidade do esforço durante o exercício.

Com isso, tanto o afeto quanto a PSE parecem ser importantes ferramentas no estudo da estratégia de prova, sendo ambas diretamente influenciadas pelas condições fisiológicas dos atletas. Nesse sentido, alterações fisiológicas induzidas pelo exercício poderiam alterar a PSE e o afeto e consequentemente, o processo de tomada de decisão para o ajuste da intensidade de esforço.

3.4 Variáveis fisiológicas e de desempenho no controle da estratégia de prova

Uma série de variáveis fisiológicas e metabólicas têm sido apontadas como importantes no controle da estratégia de prova. Entre elas podemos citar o estresse cardiovascular, a frequência respiratória, a temperatura corporal e os estoques de substrato intramuscular (BILLAT et al., 2006; LAMBERT; GIBSON; NOAKES, 2005; NIELSEN et al., 2001; PIRES et al., 2011; ST CLAIR GIBSON et al., 2003). Adicionalmente, Baron et al. (2009) mostraram que os mecanorreceptores osteomusculares também podem atuar no controle da estratégia de prova. Utilizando corrida em declive, estes pesquisadores observaram que a velocidade pode ser ajustada para regular a tensão muscular proporcionada pela ação excêntrica da corrida, evitando possíveis danos ou perturbações músculo-esquelético graves. No entanto, como citado anteriormente, nenhum parâmetro fisiológico, metabólico ou osteomuscular isoladamente parece ser capaz de explicar os ajustes sobre a estratégia, devendo ser levado em consideração um conjunto de variáveis que seriam moduladas conforme as características dos atletas e das provas disputadas (BARON et al., 2011).

Lima-Silva et al. (2010) investigaram quais variáveis fisiológicas e parâmetros tradicionalmente aceitos como marcadores de desempenho poderiam influenciar a estratégia de prova em uma corrida simulada de 10km. Foi observado que corredores com alto desempenho, classificados conforme o tempo nos 10km ($< 35,6\text{min}$), utilizaram a estratégia variável com início rápido, considerada mais eficiente para esse tipo de prova. A capacidade do atleta em utilizar esse tipo de estratégia foi associada às variáveis como o PV, o menor acúmulo de lactato sanguíneo e a melhor EC.

Em adição, Bertuzzi et al. (2014) também analisaram quais variáveis poderiam determinar a estratégia de prova em uma corrida de 10km. Os autores observaram que o PV, o $\text{VO}_2\text{máx}$ e a força dinâmica máxima de membros inferiores foram associados à velocidade de corrida entre os 400m e 9600m. Na parte final da corrida (últimos 400m), o único preditor da

estratégia de prova foi o PV. Assim, os autores sugeriram que, após os primeiros 400m, a estratégia de prova em uma corrida de 10km seria determinada por fatores fisiológicos e musculares. De fato, Carmo et al. (2012) observaram que após a indução de um início rápido com velocidade 6% maior do que a média do primeiro quilômetro, os atletas que melhoraram o desempenho foram aqueles que conseguiram manter sua velocidade durante a segunda metade de prova (5200m ao 9600m), sendo essa associada ao maior PV. O PV é determinado por fatores neuromusculares e pela contribuição anaeróbia muscular (PAAVOLAINEN; NUMMELA; RUSKO, 2000), sendo ainda associado à EC. Corredores mais econômicos podem ser capazes de manter maiores intensidades de esforço por longos períodos de tempo e atingir maior PV (FAULKNER; PARFITT; ESTON, 2008; HARGREAVES, 2008; NOAKES, 2007).

3.4.1 Economia de corrida

A EC é definida como a energia gasta, expressa em VO_2 submáximo, para determinada velocidade de corrida (FOSTER; LUCIA, 2007; SAUNDERS et al., 2004). Sendo assim, corredores com boa EC utilizam menor porcentagem de seu $\text{VO}_{2\text{máx}}$ para uma mesma velocidade de corrida em estado estável, ou seja, são mais eficientes (FOSTER; LUCIA, 2007; SAUNDERS et al., 2004). Em atletas de alto rendimento, com $\text{VO}_{2\text{máx}}$ semelhantes, a EC parece ser o melhor preditor de desempenho, sendo responsável por 65% da variação no tempo de prova (FOSTER; LUCIA, 2007; HAYES; FRENCH; THOMAS, 2011; HELGERUD; STOREN; HOFF, 2010; SAUNDERS et al., 2004; WESTON; MBAMBO; MYBURGH, 2000).

Em estudo que comparou atletas africanos negros com caucasianos, foi observado que, mesmo com $\text{VO}_{2\text{máx}}$ 13% menor, os atletas negros apresentaram melhor desempenho em provas de 10km, sendo esse fato atribuído a EC; nesse caso, 8% melhor nesses atletas (WESTON; MBAMBO; MYBURGH, 2000). Adicionalmente, tem sido mostrado que uma melhora da EC em 5% pode aumentar o desempenho da corrida em 3,8% (DIPRAMPERO et al., 1993).

Durante uma corrida a EC pode ser alterada por diversos fatores. Variáveis metabólicas e fisiológicas como a temperatura corporal, a frequência cardíaca, a ventilação e as concentrações de lactato sanguíneo têm sido diretamente correlacionadas às alterações na EC ao longo de uma corrida de 5km (MORGAN et al., 1989; POWERS et al., 1983;

SAUNDERS et al., 2004; THOMAS; FERNHALL; GRANAT, 1999). Fatores biomecânicos como a frequência e o comprimento da passada também parecem ser importantes na determinação da EC. A redução no tamanho da passada, observada durante os últimos 45 minutos de uma maratona, tem sido associada a prejuízos na EC (HAUSSWIRTH; BIGARD; GUEZENNEC, 1997). Entretanto, essa associação é ainda controversa, uma vez que outros estudos não observaram relação entre a frequência e o comprimento da passada com os prejuízos na EC durante uma prova de 5km (COLLINS et al., 2000; KYROLAINEN; BELLI; KOMI, 2001). As discrepâncias nos resultados podem estar associadas ao fato da EC ser influenciada por diferentes parâmetros, sendo sugerido que nenhuma variável cinemática ou biomecânica isoladamente poderia explicar a redução da EC (HAUSSWIRTH; BIGARD; GUEZENNEC, 1997).

Além das variáveis metabólicas e biomecânicas mencionadas anteriormente, fatores característicos do sistema neuromuscular também podem interferir diretamente sobre a EC e o desempenho. Dentre eles podemos mencionar a pré-ativação muscular antes do contato com o solo (BONACCI et al., 2009; MILLET; LEPERS, 2004), a taxa de desenvolvimento da força (STOREN; HELGERUD; HOFF, 2011), e o *stiffness* músculo-tendão (PAAVOLAINEN et al., 1999a; SPURRS; MURPHY; WATSFORD, 2003), os quais influenciam diretamente o tempo de contato com o solo (PAAVOLAINEN et al., 1999a) e a força de reação ao solo (SAUNDERS et al., 2006). Todos esses fatores estão relacionados ao desempenho do ciclo alongamento-encurtamento (CAE).

3.4.2 Ciclo alongamento-encurtamento e a economia de corrida

O CAE é uma forma natural da função neuromuscular durante atividades como a caminhada, a corrida ou os saltos (WALSHE; WILSON; ETTEMA, 1998). O CAE pode ser definido como ações musculares em que os músculos ativados são primeiramente alongados e em seguida rapidamente encurtados, ou seja, a ação excêntrica é seguida rapidamente por uma ação concêntrica e representa a capacidade dos músculos e tendões em absorver a energia mecânica e armazená-la em energia potencial elástica. A energia elástica armazenada durante a fase excêntrica será utilizada na fase concêntrica do movimento, aumentando a força gerada com menor demanda metabólica (UGRINOWITSCH; BARBANTI, 1998).

Nesse sentido, a utilização do CAE parece ser extremamente importante para a EC, uma vez que a energia elástica gerada na fase de contato com o solo será utilizada posteriormente

durante a fase de impulsão, reduzindo a demanda metabólica da corrida (ARAMPATZIS et al., 2006). De fato, tem sido sugerido que a capacidade de armazenamento e utilização da energia elástica parece ser importante para a EC, uma vez que o gasto energético pode aumentar em cerca de 30 a 40% quando esse mecanismo não é utilizado (ETTEMA, 1996).

A associação entre o CAE e a EC tem sido observada em alguns estudos. Paavolainen et al. (1999a) mostraram que o aumento do desempenho em uma corrida de 5km foi associado a melhora na EC e na capacidade do sistema neuromuscular em produzir potência durante o exercício, sendo a melhora de ambos associada a maior capacidade do atleta na utilização do CAE. A relação entre CAE e EC foi também demonstrada em estudos que avaliaram a EC após a realização de uma corrida de longa distância ou exercício envolvendo grande utilização do CAE realizados até a exaustão. A menor capacidade de utilização do CAE após o exercício foi associada ao maior gasto energético da atividade (MILLET; LEPERS, 2004; SAUNDERS et al., 2004; WARHOL et al., 1985). De fato, a diminuição na capacidade de utilização do CAE foi relacionada à queda da EC em 4% observada após 90 minutos de corrida a 65% do $\text{VO}_{2\text{máx}}$ e a queda da EC de 13% após a realização de uma maratona (HAUSSWIRTH; BIGARD; GUEZENNEC, 1997; HAYES; BOWEN; DAVIES, 2004; KYROLAINEN et al., 2000; XU; MONTGOMERY, 1995).

Os prejuízos na utilização do CAE nesses estudos podem ter ocorrido devido à série de movimentos repetidos envolvendo esse mecanismo (HAYES; FRENCH; THOMAS, 2011), o que pode levar a uma maior tolerância ao alongamento, ou seja, uma menor resistência dos tendões e consequentemente, o menor armazenamento de energia elástica na fase excêntrica do movimento (HAYES; FRENCH; THOMAS, 2011; HORITA et al., 2003). Por outro lado, o treinamento físico pode reduzir esses efeitos, aumentando a resistência à fadiga do CAE. Os efeitos do treinamento de corrida sobre a manutenção na capacidade de utilização do CAE têm sido sugeridos em estudos que avaliaram corredores fundistas altamente treinados e observaram menor interferência sobre o CAE (PAAVOLAINEN et al., 1999a; SAUNDERS et al., 2004). A maior habilidade na utilização do CAE após o treinamento, assim como a maior resistência desse mecanismo à fadiga, parece estar diretamente relacionada à melhora da EC observada em corredores de longa distância (SVEDENHAG; SJODIN, 1984). Atletas com maior capacidade de utilização do CAE parecem ser mais econômicos, o que irá refletir em menores distúrbios metabólicos e fisiológicos quando comparados a atletas com menor eficiência na utilização do CAE (HARGREAVES, 2008; NOAKES, 2007; PIRES et al., 2011; TUCKER, 2009).

Como citado anteriormente, a maior eficiência na utilização do CAE, está relacionada às propriedades mecânicas e estruturais de músculos e tendões como o *stiffness* músculo-tendão e a arquitetura muscular (BLAZEVOICH et al., 2003; BLAZEVOICH; GILL; ZHOU, 2006; BONACCI et al., 2009; NUMMELA et al., 2008; PAAVOLAINEN et al., 1999b; PAAVOLAINEN; NUMMELA; RUSKO, 1999).

3.4.2.1 Propriedades mecânicas e estruturais de músculos e tendões.

O termo *stiffness* representa a rigidez de um objeto ou corpo à mudança de deformação em resposta a uma força. Quando falamos em *stiffness* músculo-tendão estamos nos referindo a resistência dessas estruturas à mudanças de tamanho (CAVAGNA et al., 1991; MCMAHON; CHENG, 1990; SEYFARTH et al., 2002). O *stiffness*, ou seja, a rigidez em músculo e tendões está diretamente relacionada ao acúmulo de energia elástica, sendo sugerido que quanto mais rígida a estrutura maior será o acúmulo de energia (CALDWELL, 1995; ETTEMA; HUIJING, 1989). Nesse sentido, os músculos e tendões funcionariam como um elástico. Quanto mais rígido esse elástico, mais energia potencial elástica será acumulada e utilizada na fase seguinte do movimento, melhorando a utilização do CAE.

De fato, Farley et al. (1991) e Butler, Crowell e Davis (2003) observaram que o aumento do *stiffness* foi relacionado à melhora de desempenho em tarefas que utilizam o CAE como o salto vertical e o salto horizontal. Os autores observaram maior velocidade no salto horizontal e maior altura alcançada no salto vertical. Adicionalmente, o aumento do *stiffness* foi associado à redução do tempo de contato com o solo na fase de apoio do salto, sendo sugerido a maior capacidade do indivíduo produzir o mesmo nível de força em menor tempo.

No entanto, a relação entre o *stiffness* e o acúmulo e utilização de energia elástica ainda é controversa (BRUGHELLI; CRONIN, 2008; WALSHE; WILSON, 1997). Walshe e Wilson (1997) mostraram que uma estrutura músculo-tendão mais complacente poderia ser benéfica para o desempenho no salto em profundidade. Estes autores verificaram que o *stiffness* músculo-tendíneo foi inversamente correlacionado com a diferença entre a altura do salto vertical e a altura do salto com contra movimento, a qual é uma medida associada à capacidade do indivíduo de utilizar o CAE.

Especificamente durante uma corrida as ações musculares na região do joelho e do tornozelo contribuem com mais de 70% do trabalho mecânico realizado (SASAKI; NEPTUNE, 2006; WINTER, 1983), sendo a energia elástica acumulada nessas regiões

responsável por 75% da energia elástica acumulada em todo o sistema muscular esquelético (SASAKI; NEPTUNE, 2006). Assim, músculos e tendões nas regiões do tríceps sural e do quadríceps femoral parecem representar as principais estruturas envolvidas no gasto energético durante a corrida (ARAMPATZIS et al., 2006). De fato, o aumento do *stiffness* nessas regiões tem sido associado ao aumento na velocidade de corrida (ARAMPATZIS; BRUGGEMANN; METZLER, 1999; GUNTHER; BLICKHAN, 2002; KUITUNEN; KOMI; KYROLAINEN, 2002) e a melhor EC, sendo observado que corredores de longa distância mais econômicos apresentavam maior *stiffness* quando comparados a corredores menos econômicos (ARAMPATZIS et al., 2006). Com isso, o aumento do *stiffness* poderia aumentar a eficiência na utilização do CAE e consequentemente a velocidade de corrida e a EC (BUTLER; CROWELL; DAVIS, 2003; STEFANYSHYN; NIGG, 1998).

Entretanto, estudos que avaliaram o papel do *stiffness* durante a corrida não observaram relação com o aumento da velocidade (AVOGADRO; KYROLAINEN; BELLI, 2004; FARLEY; GLASHEEN; MCMAHON, 1993; MORIN et al., 2005; MORIN et al., 2006). Adicionalmente, Kubo et al. (2010) mostraram estruturas músculo-tendíneas mais complacentes em corredores de longa distância quando comparados a não corredores e Arampatzis et al. (2006) também observaram maior complacência no tendão e na aponeurose do quadríceps em corredores mais econômicos quando comparados a corredores menos econômicos.

Esses resultados controversos podem ser atribuídos a uma série de fatores. O primeiro parece estar relacionado à existência de um nível mínimo de *stiffness* necessário para que o desempenho do CAE seja otimizado. Assim, o aumento do *stiffness* acima desse nível não melhoraria o desempenho (SEYFARTH; BLICKHAN; VAN LEEUWEN, 2000). Um segundo ponto estaria relacionado às diferentes técnicas utilizadas para a medição do *stiffness* (plataforma de força, análise de vídeo, plataformas de contato, sensores de pressão, ultrassonografia, entre outras) e às diferentes maneiras de análise (vertical, da perna, articular, passivo, músculo-tendíneo, entre outros), que poderiam gerar diferentes resultados e interpretações. Por fim, os diferentes locais de determinação do *stiffness* (tendão patelar, tendão calcâneo, junção músculo tendínea no vasto lateral, junção músculo tendínea no gastrocnêmio, entre outros) (BRUGHELLI; CRONIN, 2008) também poderiam influenciar as interpretações dos resultados, uma vez que têm sido sugerido que a análise de apenas uma determinada região não poderia explicar a relação entre o *stiffness* e a utilização do CAE devido à existência de um *stiffness* considerado “ótimo” para cada região analisada. Assim, o melhor *stiffness* músculo-tendíneo do vasto lateral não seria o mesmo para o gastrocnêmio

(FLETCHER; ESAU; MACINTOSH, 2010; KUBO et al., 2010; LICHTWARK; WILSON, 2007;2008; SEYFARTH; BLICKHAN; VAN LEEUWEN, 2000).

De fato, dependendo da região analisada existem aparentes vantagens e desvantagens para estruturas mais rígidas ou mais complacentes durante a corrida. Por exemplo, tendões mais complacentes parecem ser melhores em comparação a tendões mais rígidos durante a primeira parte da fase do contato com o solo em uma corrida (HOF; VAN ZANDWIJK; BOBBERT, 2002; SASAKI; NEPTUNE, 2006). Em uma estrutura mais complacente, os baixos níveis de força produzidos nessa fase seriam suficientes para o alongamento das séries elásticas do tendão, sendo a energia elástica acumulada utilizada na segunda parte da fase de contato com o solo (BIEWENER; ROBERTS, 2000; BOBBERT, 2001), o que reduz o trabalho muscular durante a fase de encurtamento e consequentemente o gasto energético da atividade (ARAMPATZIS et al., 2006; ROBERTS et al., 1998). Adicionalmente, o maior alongamento do tendão acarretaria em pouca alteração sobre o tamanho dos sarcômeros, o que possibilitaria a manutenção da relação tamanho-força-velocidade no encurtamento muscular e consequentemente, a velocidade de encurtamento muscular e o seu potencial de geração de força (FLETCHER; ESAU; MACINTOSH, 2010; HOF; VAN ZANDWIJK; BOBBERT, 2002).

No entanto, um tendão muito complacente pode interferir sobre o mecanismo de transmissão de força músculo-tendão durante o encurtamento muscular (ROBERTS, 2002). Nesse caso, uma estrutura mais rígida parece ser eficiente, principalmente em movimentos nos quais o pré-estiramento do tendão não seja tão acentuado (BIEWENER; ROBERTS, 2000; FLETCHER; ESAU; MACINTOSH, 2010). Por exemplo, tem sido demonstrado que durante a corrida, a estrutura músculo-tendão no tríceps sural apresenta baixos níveis de pré-estiramento na etapa inicial da fase de contato com o solo (LICHTWARK; BOUGOULIAS; WILSON, 2007). Nesse caso, o estiramento do tendão e a transmissão de força seriam gerados basicamente pela contração muscular. Assim, um tendão mais complacente necessitaria de um maior encurtamento muscular e uma maior velocidade de encurtamento para realizar o movimento articular, o que acarretaria em maior custo energético. Por outro lado, tendões mais rígidos apresentariam menor alteração de comprimento, o que facilitaria a transferência de energia entre músculo e tendão, reduzindo o custo energético da contração muscular e o custo energético da corrida (FLETCHER; ESAU; MACINTOSH, 2010). Essas diferentes características regionais, características das tarefas realizadas e a possível existência de um nível ótimo de *stiffness* dificultam o melhor entendimento da relação entre complacência e rigidez na utilização do CAE.

Adicionalmente ao *stiffness* músculo-tendão, a utilização do CAE parece ser também influenciada pelas características estruturais de tendões e músculos (AAGAARD et al., 2001; BLAZEVOICH; GILL; ZHOU, 2006; BRECHUE; ABE, 2002). Os tendões são compostos por um tecido conectivo fibroso (BIRCH, 2007) e alguns estudos tem sugerido que essa estrutura pode ser alterada em resposta a sobrecarga mecânica crônica (ARAMPATZIS; KARAMANIDIS; ALBRACHT, 2007; BURGESS et al., 2007; KONGSGAARD et al., 2007). Assim, indivíduos submetidos a um programa de treinamento físico poderiam apresentar alterações estruturais nas propriedades dos tendões, como o aumento na densidade das fibras de colágeno (ARAMPATZIS; KARAMANIDIS; ALBRACHT, 2007; BURGESS et al., 2007; MICHNA; HARTMANN, 1989; REEVES; NARICI; MAGANARIS, 2003), o que poderia alterar o acúmulo e utilização da energia elástica.

Uma maior área de secção transversa no tendão calcâneo de corredores de longa distância tem sido observada em comparação a não corredores (MAGNUSSON; KJAER, 2003; ROSAGER et al., 2002). Por outro lado, Kubo et al. (2010) não observaram diferenças nos valores absolutos das espessuras dos tendões patelar e calcâneo entre corredores de longa distância e não corredores. No entanto, quando a espessura do tendão foi corrigida pela massa corpórea os corredores apresentaram maior espessura no tendão patelar, o que foi relacionada ao menor alongamento máximo do tendão. Vale ressaltar que apesar das diferenças na espessura não foram observadas diferenças no *stiffness* do tendão patelar. Os resultados controversos podem ser decorrentes dos diferentes métodos utilizados para avaliação da área de secção transversa do tendão (ressonância magnética ou ultrassonografia), as diferentes características das amostras quanto ao tempo e nível de treinamento e as diferenças na massa corpórea que poderiam interferir sobre a estrutura do tendão (KUBO et al., 2010).

A arquitetura muscular também tem sido relacionada à utilização mais eficiente do CAE (AAGAARD et al., 2001; BLAZEVOICH et al., 2003; BLAZEVOICH; GILL; ZHOU, 2006; BRECHUE; ABE, 2002). O termo arquitetura muscular refere-se ao volume muscular, a área de secção transversa, o comprimento da fibra e ao seu ângulo de penação (FUKUNAGA et al., 1997; MIYATANI et al., 2004), sendo considerado um importante parâmetro para a análise funcional da unidade músculo-tendínea (DE BOER et al., 2008). O tamanho e o ângulo de penação dos fascículos influenciam diretamente a velocidade de encurtamento muscular (AAGAARD et al., 2001; BLAZEVOICH; GILL; ZHOU, 2006; BRECHUE; ABE, 2002; FINNI et al., 2003), sendo essa associada à utilização mais eficiente da energia elástica acumulada na estrutura músculo-tendão (FLETCHER; ESAU; MACINTOSH, 2010; STAINSBY; LAMBERT, 1979). Mudanças no ângulo de penação ou

no comprimento das fibras musculares têm sido sugeridas por alterar a capacidade de geração de força devido a maior massa muscular anexada a uma determinada área do tendão e/ou por alterar a velocidade de encurtamento da fibra para uma determinada velocidade de encurtamento muscular, permitindo que as fibras permaneçam em comprimentos próximos do ideal para a produção de força (KAWAKAMI; ABE; FUKUNAGA, 1993). Adicionalmente, fibras mais longas parecem contrair em velocidades maiores quando comparadas a fibras mais curtas (BLAZEVOICH et al., 2003; SACKS; ROY, 1982). Assim, alterações no ângulo de penação ou no comprimento das fibras musculares poderiam influenciar a interação músculo-tendão, maximizando a relação potência-velocidade, alterando assim o custo energético da contração durante o movimento (LICHTWARK; WILSON, 2008).

A potência máxima de uma fibra é atingida a aproximadamente um terço da velocidade máxima de encurtamento e a maior eficiência energética ocorre em velocidades próximas a um quarto da velocidade máxima de encurtamento (ALEXANDER, 1997; HOF; VAN ZANDWIJK; BOBBERT, 2002; LICHTWARK; WILSON, 2008). Assim, seria energeticamente eficiente que a velocidade de encurtamento da fibra ocorra entre um quarto e um terço da velocidade máxima. De fato, durante a corrida foi observado que os fascículos no músculo gastrocnêmio encurtam a uma velocidade semelhante à potência máxima, ou seja, um terço da velocidade máxima (LICHTWARK; BOUGOULIAS; WILSON, 2007; LICHTWARK; WILSON, 2008). Uma vez que a velocidade de encurtamento durante a corrida parece ser importante para a eficiência energética, fascículos mais longos poderiam ser mais eficientes uma vez que podem atingir a mesma velocidade absoluta de encurtamento quando comparados a fascículos menores, mas com menor velocidade de encurtamento dos sarcômeros e maior produção de força (LICHTWARK; WILSON, 2008).

Assim como a estrutura dos tendões, o treinamento também parece alterar a arquitetura muscular e consequentemente a transmissão de força entre músculos e tendões. Abe, Kumagai e Brechue (2000) compararam corredores de velocidade com corredores de provas de longa duração e observaram que os velocistas apresentavam fascículos mais longos e menor ângulo de penação nos músculos vasto lateral e gastrocnêmios. Essas alterações estariam relacionadas à transmissão mais rápida de força e consequentemente a maior velocidade de encurtamento muscular (ABE et al., 2001; KUMAGAI et al., 2000). A arquitetura muscular tem sido mostrada por diferir entre indivíduos engajados em diferentes esportes (ARAMPATZIS et al., 2007; MURAOKA et al., 2005). No entanto, ainda não está claro se as diferenças na arquitetura muscular favorecerem a escolha pelo esporte devido ao

melhor desempenho ou se as diferenças na arquitetura refletem o tempo de treinamento realizado (LICHTWARK; WILSON, 2008).

Blazevich, Gil e Zhou (2006) sugeriram que o treinamento poderia induzir alterações na arquitetura muscular, sendo essas regionalizadas e dependentes das características da tarefa realizada. Com isso, intervenções que possam alterar as propriedades mecânicas e morfológicas de músculos e tendões poderiam influenciar diretamente a eficiência na utilização do CAE e consequentemente a EC e o desempenho (SAUNDERS et al., 2006). Entre as intervenções propostas, o treinamento de força e o de potência tem sido apontados como as mais eficazes (BERRYMAN; MAUREL; BOSQUET, 2010; SAUNDERS et al., 2004; SAUNDERS et al., 2006). No entanto, entender a relação entre a arquitetura muscular e a utilização do CAE parece ser uma tarefa complicada, uma vez que o tamanho dos fascículos e o ângulo de penação das fibras não são uniformes ao longo de todo o músculo, sendo esses formados por fascículos que atuam em diferentes direções e com diferentes ângulos de penação (WICKIEWICZ et al., 1983; ZUURBIER; HUIJING, 1993). Adicionalmente, a presença de tecido contrátil atuando em diferentes direções dificulta a compreensão sobre a importância das características da arquitetura muscular sobre o CAE (LICHTWARK; BOUGOULIAS; WILSON, 2007; SCOTT; ENGSTROM; LOEB, 1993).

3.5 Efeitos do treinamento de força e de potência sobre a economia de corrida.

Até o final da década de 90 não era comum o envolvimento de corredores de longas distâncias em programas específicos de treinamento de força. Esse fato estava associado à possibilidade do aumento de massa muscular e a redução da densidade capilar e do volume mitocondrial induzido por esse tipo de treinamento, o que em uma primeira avaliação, parecia representar prejuízos ao desempenho em competições de resistência aeróbia (KUIPERS et al., 1985). Entretanto, esse comportamento começou a mudar quando alguns estudos mostraram melhora de desempenho em corredores após um programa de treinamento de força e/ou potência (JOHNSTON et al., 1997; PAAVOLAINEN et al., 1999a; SAUNDERS et al., 2004; SAUNDERS et al., 2006).

A melhora do desempenho após um período de treinamento de força e/ou potência parece estar relacionada a alterações neuromusculares interferindo positivamente sobre a EC (FOSTER; LUCIA, 2007), sendo considerado como uma ótima estratégia para melhorar a utilização do CAE e, consequentemente, a EC (BERRYMAN; MAUREL; BOSQUET, 2010;

SAUNDERS et al., 2004; SAUNDERS et al., 2006). Com isso, os efeitos dos treinamentos de força e/ou potência sobre a EC em corredores de média e longa duração têm sido objeto de estudo em diferentes trabalhos (HOFF; GRAN; HELGERUD, 2002; MIKKOLA et al., 2007; MILLET et al., 2002; STOREN et al., 2008).

Entre as alterações induzidas pelo treinamento de força estão à melhora na coordenação muscular entre agonista e antagonista e padrões mais eficientes de recrutamento das unidades motoras. Essas adaptações contribuem diretamente com o desempenho durante a corrida aumentando a pré-ativação muscular (antes de tocar o solo) e diminuindo a ativação durante a fase de propulsão, o que torna mais rápida e eficaz a fase de transição entre a aterrissagem e a propulsão, diminuindo o tempo de contato com o solo e melhorando a habilidade do atleta em utilizar o CAE (HOFF; GRAN; HELGERUD, 2002; JOHNSTON et al., 1997; KYROLAINEN; BELLI; KOMI, 2001; NUMMELA et al., 2006; PAAVOLAINEN et al., 1999a). Adicionalmente, o treinamento de força e/ou potência parece aumentar a espessura do tendão e alterar o comprimento e o ângulo de penetração das fibras musculares, sendo essas dependentes das características do treinamento realizado (ARAMPATZIS; KARAMANIDIS; ALBRACHT, 2007; BLAZEIVICH et al., 2003; FOURE; NORDEZ; CORNU, 2010; KUBO; KANEHISA; FUKUNAGA, 2002). As alterações induzidas pelo treinamento de força estariam associadas a mudanças no *stiffness* músculo-tendão e também à melhor utilização do CAE (ALBRACHT; ARAMPATZIS, 2013).

Albracht e Arampatzis (2013) observaram aumento de 16% no *stiffness* músculo-tendíneo do tríceps sural após 14 semanas de treinamento de força envolvendo flexão e extensão plantar em alta velocidade. Resultados semelhantes foram observados por Toumi et al. (2004) após seis semanas de treinamento complexo (exercícios pliométricos combinados com o exercício *leg-press*). Foi observado aumento de 13% no desempenho no salto com contramovimento, sendo esse associado ao aumento de 8,2% no *stiffness* articular do joelho.

Outros estudos têm mostrado aumentos entre 15% e 57% no *stiffness* músculo-tendão após um programa de treinamento de força (KUBO; KANEHISA; FUKUNAGA, 2002; KUBO et al., 2001). No entanto, apesar do aumento no *stiffness* em 14%, após 14 semanas de treinamento isométrico no agachamento, Kubo et al. (2006) não observaram mudanças no desempenho no salto com contramovimento, sugerindo que o aumento do *stiffness* não alteraria a utilização do CAE. Por outro lado, Fletcher, Esau e Macintosh (2010) não observaram alterações no *stiffness* músculo tendíneo do tríceps sural de corredores treinados após oito semanas de treinamento de força. De forma similar, Hunter e Marshall (2002)

mostraram que após seis semanas de treinamento de potência o *stiffness* foi reduzido em 1,1–2,3%. Assim, os efeitos do treinamento de força ou potência sobre o *stiffness* são controversos.

Em relação às alterações na arquitetura muscular induzidas pelo treinamento de força e/ou potência, Alegre et al. (2006) observaram que após um programa de treinamento de potência com o exercício meio-agachamento com 30% a 40% da força dinâmica máxima (1RM) houve um aumento de 13% no tamanho do fascículo e de 6,9% na espessura do vasto lateral, sendo essas alterações associadas a maior taxa de desenvolvimento de força. Blazeovich et al. (2003) mostraram resultados semelhantes após cinco semanas de treinamento de potência, realizado com saltos e corridas de alta velocidade. O treinamento de potência reduziu o ângulo de penação em 3,1% e aumentou o tamanho do fascículo do vasto lateral em 24,9%. No entanto, essas alterações não foram refletidas na melhora do desempenho nos testes de salto ou velocidade. Por outro lado, o treinamento de força foi associado com o aumento do ângulo de penação e redução do tamanho dos fascículos (BLAZEVOICH et al., 2003). O aumento do ângulo de penação parece ocorrer devido ao aumento de conteúdo contrátil, o que aumenta a capacidade de produção de força. Adicionalmente, fibras com maior ângulo de penação apresentam maior massa muscular fixada a uma área do tendão, produzindo maior força relativa (POWELL et al., 1984). Os resultados apresentados sugerem que a arquitetura muscular parece ser alterada por cinco semanas de treinamento de força ou potência, sendo essas específicas as características do treino realizado. No entanto, as diferentes alterações sobre a arquitetura muscular induzidas pelo treinamento de força e/ou potência não foram refletidas em diferenças sobre os testes de força, potência ou salto, surgindo que outros fatores poderiam estar associados em relação ao desempenho (BLAZEVOICH et al., 2003).

Os efeitos do treinamento são eficientemente transferidos para o desempenho esportivo quando a velocidade do movimento é próxima à velocidade real do desempenho atlético (BEHM; SALE, 1993; KAWAMORI; NEWTON, 2006) e a mecânica dos exercícios possui cinética e cinemática similares às executadas durante a tarefa específica (KAWAMORI; HAFF, 2004). Com isso, métodos específicos de treinamento para a melhora do CAE devem ser priorizados em corredores (DOCHERTY; SPORER, 2000), entre eles o treinamento de potência envolvendo exercícios pliométricos (BERRYMAN; MAUREL; BOSQUET, 2010; DE VILLARREAL et al., 2009).

3.6 Efeitos do treinamento de potência envolvendo exercícios pliométricos sobre a economia de corrida

O treinamento de potência é tradicionalmente realizado com cargas baixas (20-50% de 1RM) e altas velocidades de execução dos movimentos (LAMAS et al., 2008). Adicionalmente, exercícios pliométricos são também utilizados. Por constituir uma forma natural do movimento humano e por fazer parte de diferentes modalidades esportivas, os exercícios pliométricos têm sido bastante utilizados em diferentes populações, tanto para a melhora do desempenho esportivo quanto para melhora de condições de saúde (MARKOVIC; MIKULIC, 2010).

Os exercícios pliométricos envolvem uma fase excêntrica inicial, também conhecida como fase de estiramento, que deve ser realizada em alta velocidade e rapidamente seguida pela fase concêntrica ou fase de encurtamento (DE VILLARREAL et al., 2009). Podemos ainda identificar uma fase intermediária, entre a fase excêntrica e concêntrica, chamada de fase de transição ou amortecimento (CHMIELEWSKI et al., 2006). Assim, devido as suas características, um programa de treinamento envolvendo exercícios pliométricos permitirá ao indivíduo uma passagem mais eficiente e rápida da fase excêntrica para a concêntrica do movimento (CHMIELEWSKI et al., 2006). Esse tipo de treinamento geralmente é realizado utilizando saltos em profundidade, mas podem também ser realizados com diferentes tipos de saltos horizontais, saltos verticais, saltos com contramovimento e saltos sobre obstáculos, sendo esses realizados de forma uni- ou bilateral (DE VILLARREAL et al., 2009).

Os seus efeitos benéficos sobre a utilização do CAE tem sido bem demonstrados na literatura, sendo observados aumentos no desempenho em testes de saltos (BOBBERT, 1990; MARKOVIC; MIKULIC, 2010), melhora na biomecânica do movimento e no controle muscular, principalmente em atividades com alto impacto (CHIMERA et al., 2004; MYER et al., 2006; MYER et al., 2005).

A grande possibilidade de variação nos exercícios permite que o treinamento pliométrico seja realizado com movimentos similares às diferentes modalidades esportivas (DE VILLARREAL et al., 2009) e situações competitivas, aumentando sua especificidade (DE VILLARREAL; GONZALEZ-BADILLO; IZQUIERDO, 2008). No entanto, para que os seus benefícios sejam atingidos o treinamento pliométrico deve ser realizado respeitando uma progressão sistemática da carga de treinamento. Essa progressão da carga pode ser realizada pela manipulação do número de saltos e do grau de complexidade dos exercícios (DE VILLARREAL; GONZALEZ-BADILLO; IZQUIERDO, 2008), podendo ser alterada a

distância dos saltos, a altura a ser ultrapassada, a altura de queda ou ainda realizar os exercícios uni- ou bilateralmente (DE VILLARREAL; GONZALEZ-BADILLO; IZQUIERDO, 2008; DE VILLARREAL et al., 2009). Entretanto, o volume e a intensidade ideal de treinamento ainda são fatores controversos, sendo essas dependentes do estado inicial de treinamento e da experiência do atleta (DE VILLARREAL; GONZALEZ-BADILLO; IZQUIERDO, 2008).

Os efeitos do treinamento pliométrico sobre a melhora da EC e desempenho tem sido bem observados em corredores. Um dos primeiros estudos que verificou a influência do treinamento de potência sobre a EC foi o realizado por Paavolainen et al. (1999a). Nesse estudo, 22 corredores de alto nível foram divididos em dois grupos, com mesmo volume total de treinamento (8,4 horas por semana). No entanto, 32% das horas de treinamento do grupo que sofreu intervenção experimental foram substituídas pelo treinamento de potência. O treinamento envolveu saltos com e sem carga, tiros em alta velocidade com cinco a 10 séries de 20 a 100 metros e exercícios para membros inferiores (*leg-press*, extensão e flexão de joelhos) com carga de ~40% 1RM e alta velocidade de execução. O grupo que realizou o treinamento de potência melhorou a EC, sendo essa associada à melhora do desempenho em corrida de 5km. A melhora da EC foi atribuída a alterações neuromusculares e anaeróbias, sendo observado melhora no desempenho no teste de 20 metros, na distância alcançada em cinco saltos horizontais consecutivos com pernas alternadas e no tempo de contato com o solo no teste de 200 metros em velocidade constante.

Após esse estudo começaram a surgir novos trabalhos tentando entender os efeitos do treinamento de potência sobre a EC. Spurrs, Murphy e Watsford (2003) avaliaram o efeito de seis semanas de treinamento de potência sobre a EC de 17 corredores de longa distância. O treinamento de potência foi realizado por meio de exercícios pliométricos envolvendo diferentes tipos de saltos e com aumento crescente no número de contatos com o solo (80 a 180 saltos) e na complexidade dos exercícios. Foi observada melhora de 6,7% na EC para velocidade de 12km/h, de 6,4% para os 14km/h e de 4,1% para os 16km/h. A melhora da EC foi associada à melhora de 2,7% no desempenho em corrida de 3km. A melhora da EC foi atribuída à maior eficiência na utilização do CAE, uma vez que foi observado aumento de 7,8% no desempenho no teste de saltos horizontais com pernas alternadas e de 13,2% no teste de salto vertical com contramovimento. Resultados semelhantes foram observados por Tunner, Owings e Schwane (2003). Nesse estudo, 21 corredores (11 mulheres e 10 homens) foram divididos em dois grupos. Um dos grupos manteve o treinamento aeróbio enquanto o outro grupo realizou um treinamento pliométrico adicional ao treino aeróbio. O treinamento

pliométrico foi realizado três vezes por semana, durante seis semanas e composto de diferentes tipos de saltos realizados com uma ou ambas as pernas. Houve melhora em torno de 2-3% na EC. No entanto, não foram observadas diferenças na altura do salto vertical.

Saunders et al. (2006) sugeriram que o treinamento de potência poderia melhorar a EC em corredores de média e longa duração. Foram realizadas nove semanas de treinamento pliométrico, três sessões semanais, em 15 corredores de alto nível. A EC melhorou em 4,1% para a velocidade de 18km/h, sendo associada à melhora de 14,7% no desempenho no teste de cinco saltos horizontais com pernas alternadas e a diminuição de 14% no tempo para alcançar a força máxima no exercício agachamento com salto. Com isso, a melhora da EC foi associada a melhor habilidade na utilização da energia elástica. Além de avaliar os efeitos do treinamento de potência sobre a EC, Mikkola et al. (2007) mensuraram também o desempenho aeróbio e outros parâmetros de resistência anaeróbia. Dezoito corredores engajados em corridas de longa distância foram aleatoriamente divididos em dois grupos. Ambos os grupos realizaram o mesmo volume semanal de treinamento, no entanto, um dos grupos substituiu 19% do volume de treinamento pelo treinamento de potência. O treinamento de potência foi realizado durante oito semanas e consistiu em 5 a 10 séries de 30 a 150 metros de corridas rápidas, saltos alternados, saltos com agachamento e saltos sobre obstáculos, com e sem carga externa. Foi executado também um treinamento de força com os exercícios agachamento, extensão e flexão dos joelhos e extensão e flexão dos tornozelos. O treinamento de potência melhorou o desempenho no teste de velocidade em 30 metros e no teste de corrida anaeróbia (V_{MART}). Foi observada ainda melhora no teste de força dinâmica máxima e na taxa de desenvolvimento de força. A EC melhorou 2,7% para a velocidade de 14km/h. Como podemos observar, o treinamento pliométrico parece ser uma estratégia interessante para a melhora da EC. Os estudos sobre o treinamento pliométrico e o efeito na EC estão sumarizados na Tabela 1.

TABELA 1. Descrição dos estudos que avaliaram os efeitos do treinamento de potência sobre a economia de corrida.

Autores	Sujeitos	Grupos	Treinamento	Conclusões
Paavolainen et al. (1999)	22 corredores de alto nível	Aeróbio Treinamento de potência	9 semanas – 3 sessões/semana Aeróbio: Intensidade abaixo de 84% ou acima de 16% do limiar de lactato Potência: Tiros - 5-10x 20-100 metros. Saltos – alternados, salto com contramovimento, salto em profundidade, salto sobre obstáculo e saltos unilaterais com peso adicional, leg-press e cadeira flexora em alta velocidade – 5-20 rep/série – 0-40% de 1 RM	Aumentou a EC - 8,1%
Spurrs, Murphy e Watsford (2003)	17 corredores experientes em provas de longa distância	Aeróbio Treinamento de potência	6 semanas Aeróbio: 60 a 80 km/semana Potência: Pliometria (agachamento com salto, salto em profundidade - saltos alternados, salto sobre obstáculo e saltos em distância com uma e com duas pernas). 3 semanas - 2 sessões/semana 3 semanas - 3 sessões/semana 2-3 séries x 8 – 15 saltos De 60 a 180 saltos/sessão	Aumentou a EC 12 km/h -6,7% 14 km/h - 6,4% 16 km/h - 4,1%
Tuner, Owings e Schwane (2003)	21 sujeitos (11 mulheres e 10 homens)	Aeróbio Treinamento de potência	6 semanas Aeróbio: 3 sessões/ semana Potência: 3 sessões/ semana 6 exercícios de 5 a 30 saltos por exercício - envolvendo saltos máximos e submáximos com uma e duas pernas	Aumentou a EC em torno de 2-3%
Saunders et al. (2006)	15 corredores altamente treinados	Aeróbio Treinamento de potência	9 semanas Potência: 3 sessões/semana Aparelhos – leg-press, flexores, saltos contínuos, agachamento com saltos, saltos rápidos, skipping alto, saltos alternados e sobre obstáculo com uma e duas pernas	Aumentou a EC 18 km/h - 4,1%
Mikkola et al. (2007)	18 corredores experientes em provas de longa distância	Aeróbio Treinamento de potência	8 semanas - 3 sessões/semana Aeróbio: ±8,5 horas de treino por semana - igual em ambos os grupos Potência: 19% do volume de treino Tiros (5-10x30-150 metros). Saltos (alternados, agachamento com saltos, saltito, salto sobre obstáculos). Exercícios com aparelhos (agachamento, extensão de joelho, flexão de joelho, flexão/extensão de tornozelo, abdominal, extensão lombar (2-3 x 6-10 rep.)) Baixa carga e alta velocidade	Aumentou a EC 14 km/h - 4%.

Outros três estudos foram desenvolvidos com objetivo de comparar os efeitos do treinamento de força e de potência sobre a EC. Guglielmo, Greco e Denadai (2009) avaliaram 17 corredores de provas de média e longa duração. Os treinamentos foram realizados duas vezes por semana, com ênfase em membros inferiores, e incluíram os exercícios *leg-press* 45°, agachamento, flexão e extensão de joelhos e dois exercícios para os músculos da perna. Para o treinamento de força foram realizadas três séries de seis repetições máximas durante as duas primeiras semanas e quatro séries de cinco repetições máximas nas duas últimas semanas. O treinamento de potência consistiu em três séries de 12 repetições, aumentando para quatro e cinco séries nas últimas duas semanas, na qual os sujeitos foram orientados a realizar o movimento em alta velocidade. Foi observado melhora de 6,2% na EC para o grupo que realizou o treinamento de força. Por outro lado, não houve alteração na EC para o grupo que treinou potência.

De forma semelhante, Taipale et al. (2010) verificaram os efeitos do treinamento de força máxima ou de potência sobre o desempenho de corredores de longa duração amadores. Foram avaliados 28 corredores, divididos em três grupos (força, potência e treinamento em circuito). O treinamento foi realizado por 28 semanas, com foco em membros inferiores. Durante as primeiras seis semanas foi realizado um período preparatório no qual todos os sujeitos realizaram os mesmos exercícios usando cargas entre 50-70% 1RM. Após esse período, foi realizado o treinamento específico por mais oito semanas, duas vezes por semanas. Após as oito semanas de treinamento específico, foram realizadas mais 14 semanas em que o treinamento de força ou potência foi reduzido para uma sessão semanal e o volume de treinamento aeróbio foi aumentado. Durante o período específico, o treinamento de força foi executado com duas a três séries de quatro a seis repetições a 80-85% 1RM. Foram realizados os exercícios agachamento, *leg-press* e flexão e extensão dos tornozelos. O treinamento de potência foi realizado com exercícios envolvendo o agachamento, o *leg-press* e saltos verticais com sobrecarga de 20kg entre duas a três séries de cinco repetições. O treinamento de circuito foi utilizado como grupo controle e os exercícios foram realizados com três séries de 40 a 50 segundos utilizando apenas o peso corporal. Os treinamentos de força e de potência melhoraram a EC, a velocidade do $\dot{V}O_2\text{max}$, a força e a potência muscular.

Finalizando, Berryman, Maurel e Bosque (2010) dividiram 35 corredores de longa duração em três grupos (controle, força e potência). O treinamento foi realizado durante oito semanas. Adicionalmente ao treinamento aeróbio, uma vez por semana, o grupo força realizou três séries de oito repetições no exercício agachamento, com ações concêntricas na maior velocidade possível. O grupo potência realizou saltos em profundidade com a altura de queda

ajustada individualmente para o melhor desempenho do CAE. Foram observadas melhoras na EC de 3,8% para o grupo força e de 6,8% para o grupo potência. A descrição dos trabalhos que compararam os efeitos do treinamento de força e potência sobre a economia de corrida pode ser observada na Tabela 2.

TABELA 2. Descrição dos estudos que compararam os efeitos do treinamento de força e potência sobre a economia de corrida

Autores	Sujeitos	Grupos	Treinamento	Conclusões
Guglielmo, Greco e Denadai (2009)	17 corredores experientes em provas de média e longa duração	Treinamento de potência	2 sessões/semana Membros inferiores Potência: Semanas 1 e 2- 3x12 rep 3 e 4 - 3-5x12 rep	Apenas grupo força aumentou a EC (6,2%)
		Treinamento de força	Força Semanas 1 e 2 - 3x6RM Semanas 3 e 4 - 4-5x6RM	
Taipale et al. (2010)	28 corredores amadores em provas de média e longa duração	Treinamento de potência	6 semanas – Período preparatório 2 sessões/semana – 50-70% 1 RM	Ambos os treinamentos (força e potência) aumentaram a EC.
		Treinamento de força	8 semanas – Período específico 2 sessões/semana Força Agachamento e Leg press 2 a 3 séries – 4-6 rep (80-85% 1RM)	
		Treinamento em circuito	Flexão/extensão de tornozelo 2 séries – 12-15rep (50-60% 1RM) Potência Agachamento e Leg press 2 a 3 séries – 5 rep (30-40% 1RM) Saltos com 20 kg 2-3 séries, 10rep Agachamento com salto 2-3 séries - 5 RM Circuito 3 séries de 40 a 50 segundos Mesmos exercícios	
Berryman, Maurel e Bosque (2010)	35 Corredores moderadamente e altamente treinados em provas de média e longa duração	Treinamento de potência	8 semanas Aeróbio: 2 sessões intervalado de alta intensidade e 1 sessão de baixa intensidade	O treinamento de potência aumentou a EC em 7%.
		Treinamento de força	Força: 1 sessão/semana Agachamento - 3 séries/ 8 rep Potência: 1 sessão/semana Salto em profundidade - Altura estipula pelo melhor desempenho (20,40 ou 60 cm)	Treinamento de força aumentou a EC em 4%.
		Controle	- 3 séries/ 6 a 8 rep	

A importância das características do treinamento realizado sobre a EC parece ficar mais clara quando analisamos esses estudos. O estudo realizado por Guglielmo, Greco e Denadai (2009) foi o único que não mostrou alterações significantes na EC com o treinamento de potência. Nesse estudo o protocolo de treinamento de potência foi realizado com exercícios tradicionais de força, realizados com baixas cargas e alta velocidade de execução do movimento. No entanto, nesse tipo de treinamento não ocorre a fase de propulsão no final da fase concêntrica, o que pode fazer com que 40% a 50% do movimento seja realizado com importante desaceleração (CORMIE; MCGUIGAN; NEWTON, 2011; NEWTON et al., 1997), resultando em velocidades de execução menores do que as realizadas no gesto motor específico do esporte (NEWTON et al., 1997). Adicionalmente, durante a desaceleração ocorre maior ativação dos músculos antagonistas (CORMIE; MCGUIGAN; NEWTON, 2011; NEWTON et al., 1997), o que poderia alterar os padrões de recrutamento muscular, prejudicando a EC, o que poderia explicar em parte a falta de melhora na EC. Nesse sentido, a utilização de exercícios pliométricos envolvendo a utilização do CAE (BERRYMAN; MAUREL; BOSQUET, 2010; DE VILLARREAL et al., 2009) em situações próximas as realizadas durante a corrida parece ser importante para a melhora da EC em corredores, enquanto que protocolos de treinamento de potência utilizando exercícios tradicionais podem não ser tão eficientes.

Os efeitos do treinamento de potência, especificamente aqueles que envolvem a utilização do CAE, sobre a melhora na utilização da energia elástica e no aumento da EC já são bem demonstrados na literatura. A melhora na EC está diretamente relacionada com o sucesso de corredores de média e longa duração. Entretanto, os efeitos da melhora na EC sobre os ajustes da estratégia de prova, outro importante fator determinante para o desempenho, não foram demonstrados até o presente momento. Assim, a hipótese do presente estudo é que a melhora na EC, induzida pelo treinamento pliométrico, poderia levar a menores distúrbios metabólicos e fisiológicos durante uma corrida de 10km, o que por sua vez poderia alterar a PSE e o afeto, e consequentemente a estratégia de prova utilizada pelo atleta.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Amostra

Como critério de inclusão no estudo os sujeitos deveriam ter idade inferior a 45 anos e capacidade de percorrer a distância de 10km em tempo inferior a 45 minutos. Deveriam realizar treinamento de corrida de três a quatro vezes por semana, com volume semanal de treino superior a 40km e possuir experiência em treinamentos e provas de 10km maiores que dois anos, sem interrupções. Adicionalmente, não poderiam ter participado ou estar participando de qualquer tipo de treinamento pliométrico ou fazer uso de substâncias ergogênicas nos últimos seis meses.

Foram avaliados 44 corredores do sexo masculino, dos quais três não completaram o teste de 10km dentro do tempo esperado e sete não completaram todos os testes do período pré-treinamento, sendo excluídos do estudo. Assim, iniciaram o estudo 34 corredores, todos aparentemente saudáveis, não apresentando nenhum tipo de lesão ou patologia que pudesse oferecer riscos ao indivíduo ou influenciar os resultados do estudo.

Os corredores foram distribuídos de maneira aleatória e balanceada (tempo nos 10km como critério) em dois grupos: controle (C, $n = 17$; tempo nos 10km = $41:14 \pm 3:21$ min:seg) e treinamento pliométrico (TP, $n = 17$; tempo nos 10km = $41:01 \pm 03:17$ min:seg). Todos os sujeitos foram orientados a manterem suas rotinas diárias de exercícios e a não iniciarem nenhum novo tipo de treinamento durante o período experimental.

Dos 34 corredores que iniciaram o estudo, quatro sujeitos do grupo C não retornaram para as avaliações após as oito semanas e dois corredores no grupo TP tiveram lesões durante competições e não completaram o programa de treinamento. Assim, o grupo C terminou com $n = 13$ e o grupo TP com $n = 15$, totalizando 28 sujeitos. As características da amostra e dos grupos podem ser observadas na Tabela 3. Não foram observadas diferenças significantes entre os grupos (C e TP).

TABELA 3. Características dos sujeitos

	Idade (anos)	Massa Corporal (kg)	Estatura (m)	Tempo nos 10km (min:seg)	IC (95%) (min:seg)
Total (n=28)	33,3 ± 6,1	69,5 ± 9,1	1,72 ± 0,08	41:18 ± 3:06	40:05 - 42:30
C (n=13)	33,8 ± 5,9	69,2 ± 8,5	1,73 ± 0,06	40:45 ± 3:39	38:32 - 42:57
TP (n=15)	32,9 ± 6,5	69,7 ± 10	1,71 ± 0,14	41:48 ± 3:07	40:04 - 43:31

C - grupo controle; TP - grupo treinamento pliométrico; IC - intervalo de confiança

O treinamento de corrida foi monitorado semanalmente por meio de relatório do corredor entregue ao pesquisador responsável (Anexo 1). O volume semanal médio de treinamento durante as oito semanas de protocolo foi de $56 \pm 15,2$ km/sem para o grupo C e de $55,1 \pm 11,4$ km/sem para o grupo TP ($p=0,5$). Durante as oito semanas do estudo, o grupo C realizou um volume total de treinamento de corrida de $466,2 \pm 121,2$ km e o grupo TP de $436 \pm 91,5$ km ($p = 0,5$). Adicionalmente ao treinamento de corrida, o grupo TP realizou duas sessões semanais, durante oito semanas, de treinamento com exercícios pliométricos para membros inferiores.

Todos os sujeitos participaram voluntariamente do estudo, foram informados sobre os possíveis riscos e os benefícios de sua participação e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), conforme resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde do Brasil. O estudo foi aprovado pelo comitê de ética da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo (nº 2011/27).

4.2 Procedimentos Experimentais

Antes e após o período de treinamento os sujeitos foram submetidos a cinco sessões experimentais separadas por no mínimo 48 horas, conforme descrito na Figura 4.

FIGURA 4. Representação temporal dos procedimentos experimentais (as sessões de familiarização não foram realizadas no pós-teste).

Na primeira sessão (sessão 1), foram realizadas as medidas antropométricas (massa corporal e estatura) e as medidas por ultrassonografia da espessura e ângulo de penetração do músculo vasto lateral, da espessura e ângulo de penetração do músculo gastrocnêmio porção lateral, da espessura do tendão patelar na região proximal e distal e da espessura do tendão calcâneo. Adicionalmente, os sujeitos foram familiarizados ao teste de salto em profundidade, ao teste de cinco saltos horizontais e as escalas de PSE e afeto.

Durante a segunda sessão (sessão 2), os sujeitos realizaram uma corrida contrarrelógio de 10km em pista oficial de atletismo (400m) utilizando estratégia de corrida de livre escolha. Foram mensurados a velocidade, a PSE e o afeto a cada 400m, o tempo total dos 10km e a velocidade média da prova. Antes da prova foram realizados os testes de salto em profundidade e de cinco saltos horizontais para avaliação do desempenho no ciclo alongamento-encurtamento (CAE) e do índice de força reativa (IFR).

Na terceira sessão (sessão 3), foram avaliados o consumo máximo de oxigênio ($\text{VO}_{2\text{máx}}$), os limiares ventilatórios 1 e 2 (LV1 e LV2), a velocidade mínima em que foi alcançado o $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ($v\text{VO}_{2\text{máx}}$) e o pico de velocidade (PV) por meio de teste progressivo máximo em esteira rolante. Adicionalmente, foi realizada a primeira sessão de familiarização

ao teste de contração voluntária isométrica máxima (CVIM) e ao teste de força dinâmica máxima (1RM).

Durante a quarta sessão de testes (sessão 4) foi avaliado o VO_2 em três velocidades distintas: 10km/h, 12km/h e a velocidade média dos 10km (VM10 – definida durante a sessão 2), para determinação da EC (10km/h e 12km/h) e do VO_2 na VM10. Foram registradas a frequência cardíaca e a PSE após cada velocidade. Adicionalmente, foi realizada a segunda sessão de familiarização ao teste de CVIM e ao teste de 1RM.

Na quinta sessão (sessão 5), foi realizado o teste de CVIM e medida a rigidez do tendão patelar. Após, foi realizado o teste de 1RM no exercício *leg-press 45°*.

Todas as sessões foram realizadas antes e após o período experimental. No entanto, nas sessões pós as familiarizações não foram realizadas. Para verificação da reprodutibilidade das medidas por ultrassonografia, 15 indivíduos foram selecionados aleatoriamente e as medidas foram realizadas novamente antes do início da sessão 5. Para a reprodutibilidade da estratégia de corrida, 15 indivíduos foram selecionados aleatoriamente e realizaram mais uma sessão experimental, na qual os procedimentos do dia 2 foram repetidos.

4.3 Medidas antropométricas

A massa corporal foi determinada por meio de uma balança eletrônica com precisão de 0,1kg (Fillizola, modelo ID 1500, São Paulo, Brasil) e a estatura determinada por meio de um estadiômetro de madeira com precisão de 0,1cm.

4.4 Medição da economia de corrida

Após três minutos de aquecimento em esteira ergométrica na intensidade de 9km/h e inclinação de 1%, os sujeitos foram submetidos a seis minutos de corrida em três diferentes velocidades: 10km/h, 12km/h e velocidade média na corrida de 10km (VM10). A escolha das velocidades foi baseada em estudo anterior que mostrou uma forte correlação entre a velocidade de 12km/h e a estratégia de corrida (LIMA-SILVA et al., 2010). Apesar da possível interferência do componente lento do VO_2 a VM10 foi escolhida por representar a velocidade mais próxima da real durante uma prova de 10km.

Durante o teste os gases expirados foram mensurados respiração a respiração por um

analisador de gases estacionário (Quark, Cosmed, Roma, Itália). Os valores respiração a respiração do VO_2 foram convertidos em médias de 30 segundos. A EC e o VO_2 na VM10 foram representados pela média do VO_2 nos 30 segundos finais da corrida em cada velocidade.

O VO_2 e a frequência cardíaca durante os testes para medição da EC foram mensurados de forma similar a do teste progressivo máximo. A PSE foi determinada ao final dos seis minutos de corrida para cada velocidade por meio da Escala de esforço de Borg 6 a 20 (BORG, 1982a).

4.5 Corrida de 10km contrarrelógio

Os sujeitos realizaram uma corrida de 10km contrarrelógio em pista oficial de atletismo de 400m (Centro de Práticas Esportivas da Universidade de São Paulo) com consumo de água *ad libitum* durante toda a prova e estratégia de corrida livre. Antes do teste os sujeitos foram orientados a aquecer de maneira livre, conforme habitualmente realizado antes de uma competição. Todos foram instruídos para terminarem a prova no menor tempo possível, como em um evento competitivo. Nenhuma informação sobre o tempo foi fornecida aos atletas durante a corrida, apenas a distância a cada quilômetro foi informada. A média da velocidade a cada 400m foi calculada e a estratégia de corrida foi determinada pela curva da velocidade e distância.

Durante a corrida foi avaliada a PSE a cada 400m por meio da Escala de Borg (6-20). Para a melhor padronização na orientação aos sujeitos sobre a utilização da escala foi adotado texto semelhante ao desenvolvido por Hardy e Rejeski (1989):

“Ao participar de um exercício é muito comum sentirmos o quão intenso nós estamos trabalhando. Para responder a escala, gostaríamos que você considerasse a quantidade total de esforço que você sente, tendo em conta todas as sensações de estresse físico, esforço e fadiga em todo o seu corpo. Os cientistas desenvolveram uma escala para medir essa percepção de esforço”.

Nesse momento, a escala foi apresentada e explicada aos sujeitos. A escala foi fixada ao antebraço do sujeito, conforme demonstrado na Figura 5.

FIGURA 5. Escala de Borg fixada ao antebraço do sujeito

Para determinação do afeto durante a corrida foi utilizada uma escala de sentimentos de 11 pontos, com uma medida bipolar de prazer-desprazer (HARDY; REJESKI, 1989). A escala varia de +5 (muito bom) a -5 (muito ruim), sendo o zero fixado como “neutro” (Figura 6).

Para a melhor padronização na orientação aos sujeitos sobre a utilização da escala foi adotado o texto desenvolvido por Hardy e Rejeski (1989):

“Durante o exercício é comum vivenciarmos mudanças de sentimentos. Algumas pessoas acham o exercício prazeroso, enquanto outras acham o exercício desprazeroso. Adicionalmente, esses sentimentos podem mudar ao longo do exercício. Ou seja, podemos nos sentir bem e mal várias vezes durante o exercício. Cientistas desenvolveram uma escala para avaliar essas mudanças”.

Nesse momento a escala foi apresentada e explicada ao sujeito. Os sujeitos foram perguntados sobre a sensação de prazer-desprazer a cada 400m durante a corrida de 10km.

Durante toda a prova a escala foi mostrada ao sujeito a cada volta, 100m antes do local da coleta.

FIGURA 6. Escala de sentimentos (prazer-desprazer). Adaptada de Hardy e Rejeski (1989).

4.5.1 Reprodutibilidade do teste de corrida contrarrelógio de 10km

A fim de garantir a qualidade dos dados e permitir maior inferência dos resultados encontrados, a reprodutibilidades da estratégia de corrida e do tempo nos 10km foi determinada. Para isso, 15 corredores foram selecionados aleatoriamente na nossa amostra e realizaram um segundo contrarrelógio de 10km. As provas foram realizadas no mesmo horário do dia, porém com variação natural da temperatura. A temperatura média no dia da primeira prova foi $21 \pm 3,9^{\circ}\text{C}$ (máximo= 27°C e mínimo= 14°C) e no dia da segunda prova foi $21,9 \pm 2,9^{\circ}\text{C}$ (máximo= 25°C e mínimo= 14°C).

A reprodutibilidade no padrão de estratégia de prova utilizado durante um contrarrelógio de 10km pode ser observada na Figura 7.

FIGURA 7. Padrão de estratégia de prova utilizado durante duas corridas contrarrelógio de 10km.

Para análise da reprodutibilidade da estratégia de prova, a corrida de 10km foi dividida em quatro etapas: V400 = primeiros 400m; M1 = entre os 401m e os 5200m; M2 = entre os 5201m e os 9600m; SF = últimos 400m. Não foram observadas diferenças significantes no tempo de prova, na VM ou nas diferentes etapas da corrida de 10km, confirmando a alta reprodutibilidade do desempenho e da estratégia de prova no grupo estudado (Tabela 4).

TABELA 4. Reprodutibilidade do tempo de prova, velocidade média e velocidade média em diferentes etapas de uma prova contrarrelógio de 10 km.

Prova	Tempo de prova (min:seg)	VM (km/h)	V400 (km/h)	M1 (km/h)	M2 (km/h)	SF (km/h)
1	41:1 ± 03:06	14,8 ± 1,1	16,2 ± 1,6	15,1 ± 1,2	14,4 ± 1,1	16 ± 2,8
2	41:1 ± 03:3	14,7 ± 1,3	16,3 ± 3,4	14,9 ± 2,6	14,2 ± 2,6	15,6 ± 3,3
CCI	0,98	0,95	0,86	0,97	0,91	0,83
(IC)	(0,94-0,99)	(0,87-0,98)	(0,65-0,95)	(0,94-0,99)	(0,76-0,96)	(0,57-0,94)

VM - velocidade média da prova; V400 - velocidade média nos primeiros 400m; M1 - velocidade média entre os 401m e 5200m; M2 - velocidade média entre os 5201m e 9600m; SF - velocidade média nos últimos 400m; CCI - coeficiente de correlação intraclasse; IC - intervalo de confiança.

4.6 Testes de saltos

Foram realizados o teste de salto vertical em profundidade e o teste de cinco saltos horizontais com pernas alternadas.

4.6.1 Salto vertical em profundidade

A altura do salto em profundidade foi mensurada utilizando o equipamento Jump Test 2.0 (Hidrofit Ltda, Belo Horizonte, MG, Brasil). Foram realizados cinco saltos, sendo descartados o salto mais alto e o mais baixo para o cálculo da média. Antes dos saltos os sujeitos realizaram um aquecimento geral composto de cinco minutos de corrida livre

seguidos de exercícios leves de flexibilidade para os membros inferiores e duas séries de cinco saltos verticais para o aquecimento específico.

O salto em profundidade foi realizado com as mãos apoiadas na cintura, o indivíduo se posicionou em pé sobre uma plataforma de 40cm de altura e saltou em direção ao solo realizando a fase excêntrica do salto com a angulação de flexão dos joelhos livre. Imediatamente após a flexão dos joelhos, o participante executou a fase concêntrica do salto o mais rápido possível, minimizando o tempo de transição entre as fases e com o menor tempo de contato com o solo. Os sujeitos foram fortemente encorajados a saltarem o mais alto possível.

O índice de força reativa (IFR), o qual mede a habilidade do indivíduo em mudar rapidamente da fase excêntrica para fase concêntrica do salto foi calculado pela altura do salto em profundidade (SP) dividida pelo tempo de contato com o solo.

4.6.2 Cinco saltos horizontais com pernas alternadas

Esse teste consistiu em realizar cinco saltos horizontais consecutivos, com as pernas alternadas, alcançando a maior distância possível. A partir da posição inicial, pés paralelos, o indivíduo saltou para frente começando com a perna de sua preferência. Após o primeiro contato, mais quatro saltos foram realizados, alternando o pé esquerdo e direito. O desempenho no teste foi avaliado pela distância percorrida, medida com uma fita métrica, a partir da marca inicial até a posição de contato do calcanhar com o solo no último passo. Foram realizadas três tentativas sendo considerada a média para a análise.

4.7 Teste de força dinâmica máxima (1RM) no exercício *leg-press 45°*

O teste de força dinâmica máxima foi realizado no exercício *leg-press 45°*. Os participantes realizaram um aquecimento geral em esteira ergométrica a 9km/h durante cinco minutos, seguido de cinco minutos de exercícios leves de alongamento para os membros inferiores. Em seguida foi realizado um aquecimento específico composto de uma série de cinco repetições com aproximadamente 50% 1RM (estimado na sessão de familiarização) e uma série de três repetições com aproximadamente 70% 1RM, com dois minutos de intervalo entre as séries. Três minutos após o término do aquecimento foi iniciado o teste de 1RM. Os

sujeitos iniciavam o movimento com os joelhos estendidos ($\cong 180^\circ$), flexionavam até 90° e retornavam a posição inicial.

A progressão das cargas foi feita de acordo com a percepção de um avaliador experiente e o valor de 1RM foi determinado no máximo em cinco tentativas com três minutos de intervalo entre elas. Os sujeitos foram encorajados verbalmente para a realização da força máxima.

4.8 Teste de contração voluntária isométrica máxima

A CVIM para a extensão do joelho foi mensurada com um dinamômetro isocinético (Biodex System 4, Biodex Medical Systems, NY, EUA). Os sujeitos foram posicionados na cadeira do dinamômetro isocinético, com um ângulo de 85° na articulação do quadril. O joelho foi posicionado próximo ao braço de alavanca do aparelho e o seu eixo de rotação anatômico (referência no epicôndilo femoral) foi alinhado com o eixo de rotação do braço de alavanca do aparelho. O ponto de apoio do braço de alavanca do aparelho foi situado a um centímetro proximal do maléolo medial. O sujeito foi fixado ao aparelho através de cintas, evitando a alteração de sua posição durante a execução do movimento e prevenindo, também, contribuições de outros segmentos corporais na realização do exercício.

O ângulo de mensuração utilizado foi de 60° a partir da extensão completa do joelho (assumindo 0° na horizontal). Os sujeitos foram orientados a atingirem o pico de torque em até três segundos e em todas as tentativas receberam instrução e encorajamento verbal para executar o esforço máximo. Foram realizadas três tentativas, com um minuto de intervalo. O maior valor observado foi determinado como a CVIM (BROWN; WEIR, 2001).

4.9 Teste progressivo máximo

Esse teste foi conduzido em uma esteira ergométrica (E750, Movement, São Paulo, Brasil) e foi utilizado para a determinação do consumo máximo de oxigênio ($VO_{2m\acute{a}x}$), dos limiares ventilatórios 1 e 2 (LV1 e LV2), da velocidade do $VO_{2m\acute{a}x}$ ($vVO_{2m\acute{a}x}$) e do pico de velocidade (PV). Após três minutos de aquecimento na intensidade de 9km/h, foram realizados incrementos de 1km/h a cada minuto até que o sujeito apresentasse incapacidade de se exercitar, a qual foi indicada verbalmente pelo participante. A inclinação foi mantida a 1%

durante todo o teste. Durante o teste os gases expirados foram mensurados respiração a respiração por um analisador de gases estacionário (Quark, Cosmed, Roma, Itália). Os valores respiração a respiração do VO_2 foram convertidos em médias de 30 segundos. O equipamento foi calibrado previamente conforme as especificações contidas no manual do fabricante.

A frequência cardíaca durante o teste foi mensurada por meio de um cardiofrequencímetro (Polar®, modelo RS800CX, Finlândia), sendo considerada como a frequência cardíaca máxima (FCM) o maior valor obtido ao final do teste. A PSE foi mensurada ao final de cada minuto por meio da escala de Borg 6 a 20.

Para determinação do primeiro limiar ventilatório foram utilizados como critério o incremento dos valores do equivalente ventilatório de oxigênio (VE/VO_2) e a pressão parcial de oxigênio ao final da expiração (PETO_2), concomitante a primeira quebra da linearidade no aumento da ventilação (VE). Para determinação do segundo limiar ventilatório foram utilizados como critério o menor valor do equivalente ventilatório de dióxido de carbono (VE/VCO_2) antes do seu incremento e a maior pressão de CO_2 ao final da expiração (PETCO_2) antes de sua queda, concomitante a segunda quebra de linearidade no aumento da ventilação (SKINNER; MCLELLAN, 1980). Os limiares ventilatórios foram determinados por um único pesquisador experiente.

O $\text{VO}_{2\text{máx}}$ foi determinado quando pelo menos dois dos seguintes critérios foram observados: 1) um aumento do VO_2 menor que $2,1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ entre os dois últimos estágios completos; 2) a razão de trocas respiratórias $>1,10$; 3) o participante atingisse 90% da frequência cardíaca máxima predita pela idade ($220-\text{idade}$) e 4) a incapacidade do participante de manter a velocidade requerida mediante o encorajamento verbal.

A $v\text{VO}_{2\text{máx}}$ foi determinada como a menor velocidade em que o $\text{VO}_{2\text{máx}}$ foi observado e mantido por mais de um minuto. O PV foi considerado a maior velocidade alcançada durante o teste. Quando os sujeitos não completaram o último estágio, o pico de velocidade foi calculado pela equação proposta por Kuipers et al. (1985).

$$\text{PV} = \text{VUEC} + (\text{TSUE}/\text{TTE} \times \%)$$

no qual, VUEC é a velocidade do último estágio completo, TSUE é o tempo sustentado em segundos no último estágio incompleto, TTE é o tempo total de cada estágio em segundos e % é o percentual de inclinação da esteira.

4.10 Alongamento do tendão patelar

Após cinco minutos de recuperação, os sujeitos realizaram uma nova CVIM para a extensão do joelho, sendo orientados a atingirem os valores do teste anterior para a CVIM entre 3-5 segundos. Durante o teste foi fornecido *feedback* visual e encorajamento verbal para que os mesmos valores fossem atingidos.

Durante a CVIM foi utilizado um aparelho de ultrassom bidimensional, modo-B, com transdutor vetorial linear e frequência de 7,5 MHz (Samsung Medison Co. Ltda., Sonoace R3, Gangwon-do, Coréia do Sul). O transdutor foi posicionado longitudinalmente sobre a parte proximal do tendão patelar e fixado por meio de um suporte de espuma adaptado, acoplado a uma joelheira de neoprene (Figura 8A). Para determinar o deslocamento do tendão e garantir que o transdutor não fosse deslocado sobre a pele durante a contração muscular, um marcador adesivo (fita micropore) foi posicionado um centímetro abaixo da borda inferior da patela. O alongamento do tendão foi mensurado quadro a quadro pela distância entre a borda da patela e o marcador adesivo (Figura 8B e 8C). As imagens foram capturadas em uma frequência de aquisição de 30Hz e convertidas para vídeo pelo próprio aparelho, sendo posteriormente analisadas por meio de um software de digitalização de imagens de uso livre (Kinovea 0.8.15, França, <http://www.kinovea.org/fr/>).

FIGURA 8. Medida de alongamento do tendão patelar A - Posicionamento do transdutor. B - Tendão patelar em repouso. C - Tendão patelar no alongamento máximo. Linha tracejada representa a distância entre o marcador adesivo e a borda inferior da patela.

4.11 Determinação do *stiffness* do tendão patelar

Para a determinação do *stiffness* do tendão patelar o ultrassom foi sincronizado com o dinamômetro isocinético por meio de um sistema de aquisição de sinais (conversor A/D) iniciado manualmente (USB-6218, National Instruments, Houston, EUA). Assim, as imagens do alongamento do tendão patelar foram sincronizadas aos valores de torque produzido durante a CVIM para posterior análise da relação força-alongamento no tendão patelar.

Os valores de torque captados pelo dinamômetro isocinético durante a CVIM foram convertidos em força muscular pela seguinte equação:

$$FM = (TQ/MA) \times 1000$$

No qual, TQ é o torque para extensão de joelho e MA é o braço de alavanca do quadríceps femoral. O braço de alavanca do quadríceps femoral foi estimado para cada indivíduo, levando em consideração o tamanho do seguimento e o ângulo de flexão do joelho (60° de flexão) (VISSER et al., 1990).

O *stiffness* do tendão patelar foi determinado pela relação entre a variação do alongamento do tendão e a variação da força muscular produzida. Para isso, foram plotados gráficos de dispersão tendo os valores de alongamento do tendão no eixo X e os valores de força muscular no eixo Y. O *stiffness* do tendão patelar foi determinado pela inclinação da reta em uma regressão linear simples (KUBO et al., 2007) para os intervalos de 0 a 50% e de 50% a 100% da CVIM.

4.12 Medidas por ultrassonografia

Para captação das imagens foi utilizado um aparelho de ultrassom bidimensional, modo-B com transdutor vetorial linear e frequência de 7,5 MHz (Samsung Medison Co. Ltda., Sonoace R3, Gangwon-do, Coreia do Sul). Um gel solúvel em água foi aplicado entre o transdutor e a pele para auxiliar o contato acústico e evitar o contato direto com a pele, eliminando uma possível deformação dos músculos e tendões induzida pela pressão aplicada pelo transdutor. As imagens foram realizadas sempre na perna direita, salvas e posteriormente analisadas por meio de um software de digitalização de imagens de uso livre (Kinovea 0.8.15,

França, <http://www.kinovea.org/fr/>). Foram realizadas três medidas para cada sujeito e a média considerada para futuras análises.

4.12.1 Espessura do músculo vasto lateral.

Os sujeitos foram posicionados em decúbito dorsal, com as pernas apoiadas e relaxadas sobre uma maca. As imagens foram realizadas a 50% da distância entre o epicôndilo lateral da tíbia e o trocanter maior do fêmur. A pele foi demarcada e o transdutor posicionado transversalmente ao músculo vasto lateral.

A espessura do vasto lateral foi determinada pela distância entre a aponeurose superficial e a aponeurose profunda, tendo o fêmur como referência para determinação do local da medida (Figura 9).

FIGURA 9. Medida de espessura do músculo vasto lateral (VL).

4.12.2 Ângulo de penação do músculo vasto lateral

Para determinação do ângulo de penação do músculo vasto lateral, o transdutor foi posicionado longitudinalmente ao músculo, a 50% da distância entre o epicôndilo lateral da tíbia e o trocanter maior do fêmur. O alinhamento ideal foi considerado quando diferentes

fascículos puderam ser observados na imagem. A aponeurose profunda foi demarcada e devido à pequena tendência de curvatura do fascículo próximo a sua inserção com a aponeurose (VAN LEEUWEN; SPOOR, 1992), o ângulo de penetração foi mensurado 3 a 4 mm acima da aponeurose profunda, permitindo maior precisão na análise (Figura 10).

FIGURA 10. Medida do ângulo de penetração do músculo vasto lateral (VL). Linha pontilhada 2-3 mm acima da aponeurose profunda para determinação do ângulo de penetração dos fascículos. VI = vasto intermédio.

4.12.3 Espessura e ângulo de penetração do músculo gastrocnêmio porção lateral

Os sujeitos foram posicionados em decúbito ventral sobre uma maca, com os pés livres (não apoiados) e relaxados. Durante as medidas a articulação do tornozelo foi passivamente mantida a 90°. Foi definida a região de maior circunferência do tríceps sural e a pele demarcada sobre a porção lateral do músculo gastrocnêmio. Para que as medidas no pós-teste fossem realizadas na mesma região, a distância entre o local de realização da medida e o epicôndilo lateral da tíbia foi registrada. O transdutor foi posicionado longitudinalmente ao músculo, sendo considerado como o alinhamento ideal quando diferentes fascículos puderam ser observados na imagem.

Para a espessura do músculo gastrocnêmio porção lateral foi considerada a distância entre a aponeurose superficial e a aponeurose profunda (Figura 11A).

Para determinação do ângulo de penação a aponeurose profunda foi demarcada e o ângulo de penação foi mensurado 3-4 mm acima da marcação, permitindo maior precisão na análise (Figura 11B).

FIGURA 11. Medida do ângulo de penação e da espessura do músculo gastrocnêmio porção lateral. A - espessura do gastrocnêmio. B - ângulo de penação. Linha pontilhada da figura B 3-4 mm acima da aponeurose profunda para determinação do ângulo de penação dos fascículos.

4.12.4 Espessura do tendão patelar

Os sujeitos permaneceram deitados em decúbito dorsal. O joelho direito foi flexionado a 45° e devidamente apoiado, permitindo um leve alongamento do tendão para a melhor visualização de suas margens. O transdutor foi posicionado longitudinalmente ao tendão e a espessura determinada na região proximal, um centímetro abaixo da borda inferior da patela (Figura 12A), e na região distal, um centímetro acima da inserção com a tuberosidade da tíbia (Figura 12B).

FIGURA 12. Medida da espessura do tendão patelar. A - espessura na região proximal realizada um centímetro a partir da borda inferior da patela. B - espessura na região distal realizada um centímetro a partir da borda inferior da tuberosidade da tíbia. Seta tracejada representa a distância de um centímetro. Linha contínua indica o local de mensuração da espessura do tendão patelar.

4.12.5 Espessura do tendão calcâneo.

O sujeito foi posicionado em decúbito ventral, com os pés livres (não apoiados) e relaxados. As medidas foram feitas sempre com o tornozelo flexionado passivamente a 90°. Para a espessura do tendão calcâneo, o transdutor foi posicionado longitudinalmente ao tendão e a espessura determinada na região distal, um centímetro acima da sua inserção com o calcâneo (Figura 13).

FIGURA 13. Medida da espessura do tendão calcâneo. Seta tracejada representa a distância de um centímetro. Linha contínua indica o local de mensuração da espessura do tendão calcâneo.

4.12.6 Reprodutibilidade das medidas por ultrassonografia

Quinze indivíduos foram selecionados aleatoriamente e as medidas por ultrassonografia realizadas novamente para determinação da reprodutibilidade da medida. Os valores de reprodutibilidade podem ser observados na Tabela 5.

TABELA 5. Reprodutibilidade das medidas por ultrassonografia

Medida	95%IC	CCI	CV
Espessura do vasto lateral	0,81 - 0,98	0,94	3,3%
Ângulo de penação do vasto lateral	0,63 - 0,96	0,89	4,8%
Espessura do gastrocnêmio	0,81 - 0,95	0,89	4,2%
Ângulo de penação do gastrocnêmio	0,67 - 0,97	0,90	3,7%
Espessura do tendão patelar na região distal	0,71 - 0,97	0,91	4,9%
Espessura do tendão patelar na região proximal	0,84 - 0,98	0,95	4,7%
Espessura de tendão calcâneo	0,71 - 0,97	0,92	4,9%

95% IC - Intervalo de confiança, CCI - Coeficiente de correlação intraclasse, CV - coeficiente de variação.

4.13 Treinamento pliométrico para membros inferiores

O programa de treinamento pliométrico foi constituído por diferentes tipos de saltos (agachamento com salto, salto com afundo, salto em progressão, salto em progressão com pernas alternadas, salto em progressão com uma perna, salto em profundidade, salto sobre obstáculo e salto sobre obstáculo com uma perna) conforme ilustrado na Figura 14.

FIGURA 14. Exercícios pliométricos

O treinamento foi realizado durante oito semanas, com duas sessões semanais separadas por um mínimo de 48 horas. Antes de cada sessão foi realizado um aquecimento geral com corrida em intensidade baixa durante cinco minutos e um aquecimento específico com exercícios de *skipping* alto, *skipping* baixo, *Anfersen* e *kick out* (2 x 30 metros). O programa de treinamento utilizado foi adaptado de Spurrs et al. (2003). O número total de

contatos com o solo e a variação da complexidade dos exercícios aumentou progressivamente até a sexta semana. Durante as duas últimas semanas o volume do treinamento foi reduzido (Tabela 6). Todos os sujeitos foram encorajados a alcançar a maior distância ou altura possível nos exercícios.

TABELA 6. Programa de treinamento com exercícios pliométricos

Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Agachamento com salto	5x6	3x6	3x6	3x6	3x6	4x6		
Salto com afundo	5x6	3x6	3x6	3x6	3x6	4x6		
Saltos em progressão		3x6	3x6	3x6	3x6	4x6	4x6	2x6
Saltos em progressão pernas alternadas		3x6	3x6	3x6	3x6	4x6	4x6	2x6
Saltos em progressão com uma perna			4x6	4x6	4x6	4x6	4x6	4x6
Saltos em profundidade				2x6	2x6	3x6	4x6	2x6
Saltos sobre obstáculo				2x6	2x6	3x6	4x6	2x6
Saltos sobre obstáculo com uma perna					4x6	4x6	4x6	4x6
Total de saltos	60	72	96	120	144	180	144	96

4.14 Análise estatística

A distribuição dos dados foi previamente analisada pelo teste de Shapiro-Wilk. Uma vez atendido o critério de distribuição normal, a estatística descritiva foi reportada com médias $\pm$ desvios padrão. A fim de testar a reprodutibilidade das medidas de desempenho nos 10km e as medidas por ultrassonografia foram calculados o coeficiente de variação, o coeficiente de correlação intraclasse (CCI) e o intervalo de confiança (IC).

A análise de modelos mistos para medidas repetidas tendo grupo (C e TP) e tempo (pré e pós-treinamento) como fatores foi empregada na comparação da EC, dos testes de saltos, da força muscular, das variáveis analisadas no teste progressivo máximo e nas medidas por ultrassonografia. O *post-hoc* com ajustamento de Tukey foi utilizado quando valores significantes de F foram encontrados. A magnitude do efeito do pré para o pós-treinamento foi estimada por meio do cálculo do tamanho do efeito (*cohen's d* ES).

Para análise quantitativa da estratégia de corrida, da PSE e do afeto, a prova de 10 km

foi dividida em quatro etapas: V400 = primeiros 400m; M1 = entre os 401m e os 5200m; M2 = entre os 5201m e os 9600m; SF = últimos 400m. A reprodutibilidade da estratégia de prova foi verificada por meio da análise de modelos mistos para medidas repetidas tendo como fatores as provas (P1 e P2) e as etapas (V400, M1, M2 e SF). As diferenças entre os grupos para os testes pré na estratégia de corrida, na PSE e no afeto foram identificadas por meio da análise de modelos mistos para medidas repetidas tendo grupos (C e TP) e etapas (V400, M1, M2 e SF) como fatores. As diferenças intra-grupos na estratégia de corrida, na PSE e no Afeto foram identificadas por meio da análise de modelos mistos para medidas repetidas tendo tempo (pré e pós-treinamento) e etapas (V400, M1, M2 e SF) como fatores. O *post-hoc* com ajustamento de Tukey foi utilizado quando valores de F foram significantes. O nível de significância adotado foi de $p \leq 0,05$.

5 RESULTADOS

5.1 Economia de corrida

Não foram observadas diferenças na EC entre os grupos no início do estudo para as velocidades de 10km/h, de 12km/h e na VM10 (Tabela 7). Após oito semanas de treinamento não foram observadas diferenças significantes na EC no grupo C. A EC melhorou significativamente no grupo TP em relação ao teste pré nas velocidades de 10km/h (-3,6%; $p=0,05$; Figura 15A) e 12km/h (-4,9%; $p = 0,01$; Figura 15B). Não houve diferença para a VM10 (-2,9%; $p=0,1$; Figura 15C).

FIGURA 15. Economia de corrida e VO_2 na VM10. A - Economia de corrida a 10km/h, B - Economia de corrida a 12km/h, C - Economia de corrida na velocidade média de uma prova de 10km (VM10). *diferença significativa do pré para o pós teste ($p \leq 0,05$).

Os valores da FC, PSE e VO_2 nas três diferentes velocidades podem ser observados na Tabela 7.

TABELA 7. Valores de frequência cardíaca, percepção subjetiva de esforço e consumo de oxigênio a 10km/h, 12km/h e na velocidade média de prova (VM10).

10km/h						
Grupo	FC (bpm)		PSE (UA)		VO ₂ (ml/kg/min)	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
C	133 ± 11	133 ± 14	8 ± 2	8 ± 1	39,1 ± 3,6	38,7 ± 4,1
TP	134 ± 10	136 ± 10	8 ± 2	8 ± 1	38,3 ± 3,6	37 ± 3,1*

12km/h						
Grupo	FC (bpm)		PSE (UA)		VO ₂ (ml/kg/min)	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
C	153 ± 14	150 ± 15	10 ± 2	9 ± 2	43,1 ± 3,7	43,5 ± 3,3
TP	154 ± 11	155 ± 12	10 ± 2	10 ± 2	44,5 ± 3,4	42,4 ± 3,4*

Velocidade média dos 10km (VM10)						
Grupo	FC (bpm)		PSE (UA)		VO ₂ (ml/kg/min)	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
C	172 ± 10	168 ± 11	12 ± 3	12 ± 2	51,4 ± 6,1	51 ± 5,0
TP	170 ± 9	174 ± 10	12 ± 2	12 ± 2	52,4 ± 4,6	50,9 ± 4,9

C - grupo controle, TP - grupo treinamento pliométrico, FC - frequência cardíaca, PSE - percepção subjetiva de esforço, VO₂ - consumo de oxigênio, *diferença pré vs pós, $p \leq 0,05$

5.2 Estratégia de prova e desempenho em corrida de 10km contrarrelógio

A análise do padrão de estratégia de prova utilizado pelos corredores mostrou velocidades significativamente maiores nos primeiros 400m (V400) em relação à velocidade média (VM) (9,4%; $p=0,004$), a velocidade desenvolvida no M1 (entre os 401m e os 5200m; 7,2%; $p = 0,05$) e a velocidade no M2 (entre os 5201m e os 9600m; 12,5%; $p = 0,001$). A velocidade voltou a aumentar nos últimos 400m e foi significativamente maior do que a velocidade média (9,4%; $p = 0,004$) e a velocidade no M2 (12,5%; $p = 0,008$). Assim, a estratégia de prova utilizada pelos atletas apresentou um padrão variável em J-invertido.

O padrão da estratégia de prova não foi diferente entre os grupos no início do estudo (Figura 16A). Após oito semanas de treinamento não foram observadas diferenças no padrão de estratégia de prova no grupo C (Figura 16B) e no grupo TP (Figura 16C).

FIGURA 16. Estratégia de prova. A - Grupo controle (C) vs grupo treinamento pliométrico (TP) no teste pré, B - Grupo C - pré vs pós, C - Grupo TP – pré vs pós.

O tempo para completar os 10km, a velocidade média de prova e a velocidade média desenvolvida nas diferentes etapas (V400, M1, M2 e SF) da corrida de 10km podem ser

observadas na Tabela 8. Não foram encontradas diferenças significantes no início do estudo entre os grupos ou após o período experimental.

TABELA 8. Tempo de prova, velocidade média e velocidade média nas diferentes etapas da corrida de 10km para os grupos controle e treinamento pliométrico.

Grupos	Tempo de prova (min:seg)		VM (km/h)		V400 (km/h)		M1 (km/h)		M2 (km/h)		SF (km/h)	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
C	40:45	40:58	14,8	14,7	16,7	16,6	15,1	15,01	14,33	14,2	15,6	16,1
	±3:39	±3:35	±1,3	±1,3	±1,8	±1,2	±1,4	±1,3	±1,3	±1,2	±1,5	±2
TP	41:48	41:22	14,6	14,7	16,4	16,7	14,8	14,7	14,1	14,2	15,8	15,9
	±2:34	±2:37	±0,8	±0,9	±1,5	±1,2	±0,8	±0,9	±0,8	±1,1	±1,4	±1,2

C - grupo controle, TP - grupo treinamento pliométrico, VM - velocidade média, V400 - velocidade média dos primeiros 400m, M1 - velocidade média entre os 401m e 5200m, M2 - velocidade média entre os 5201m e 9600m, SF - velocidade média nos últimos 400m.

5.3 Percepção subjetiva de esforço e afeto durante corrida de 10km contrarrelógio

Não foram observadas diferenças significantes entre os grupos na PSE durante a prova de 10km no teste pré para a V400 (C = $9,15 \pm 1,3$; TP = $9,3 \pm 1,9$; p = 0,9), a M1 (C = $13,07 \pm 1,5$; TP = $11,9 \pm 1,3$; p = 0,45), a M2 (C = $15,7 \pm 1,2$; TP = $15,2 \pm 1,8$; p = 0,9) e o SF (C = $17,7 \pm 1,3$; TP = $17,8 \pm 2,1$; p = 0,9). A PSE aumentou de forma significativa da V400 para a M1, da M1 para a M2 e da M2 para a SF (p=0,0001). Não foram observadas diferenças na PSE da corrida pré para a corrida pós nos grupos C e TP.

O afeto (prazer/desprazer) não foi diferente entre os grupos durante a corrida de 10km para a V400 (C = $1,5 \pm 2,4$; TP = $1,4 \pm 2,2$; p = 0,9), a M1 (C = $1 \pm 2,2$; TP = $1,2 \pm 2,4$; p = 0,9), a M2 (C = $0,8 \pm 2,9$; TP = $0,2 \pm 2,7$; p = 0,9) e a SF (C = $-0,15 \pm 3,13$; TP = $0,6 \pm 3,6$; p = 0,9). O afeto não foi diferente da V400 para a M1 (p = 0,8) e M2 (p = 0,2), mas foi significativamente menor na SF (p = 0,01). Não foram observadas diferenças no afeto durante a corrida pré para a corrida pós nos grupos C e TP.

Os comportamentos da PSE e do afeto durante a prova de 10km podem ser observados na Figura 17 A-F.

FIGURA 17. Comportamento da PSE e do afeto durante corrida de 10km. C - grupo controle, TP - grupo treinamento pliométrico. Figura A - comportamento da PSE nos grupos C e TP no teste pré. Figura B - comportamento da PSE no grupo C no teste pré vs pós. Figura C - comportamento da PSE no grupo TP no teste pré vs pós. Figura D - comportamento do afeto nos grupos C e TP no teste pré. Figura E - comportamento do afeto no grupo C no teste pré vs pós. Figura F - comportamento do afeto no grupo TP no teste pré vs pós.

5.4 Efeitos das alterações na economia de corrida sobre a estratégia de prova e desempenho.

Para verificar se alterações na EC poderiam modificar a estratégia de corrida utilizada pelos atletas, uma nova análise da estratégia de prova foi realizada apenas para os indivíduos responsivos ao treinamento pliométrico em relação à EC. Para isso, apenas os corredores que apresentaram melhora na $EC \geq 3,5\%$ para 10km/h ou 12km/h foram selecionados. O valor de 3,5% foi utilizado por estar acima da variação esperada para a EC (MORGAN et al., 1991). Dos 15 indivíduos do grupo TP, 11 foram classificados como responsivos ao treinamento pliométrico e utilizados para a nova análise.

Na Figura 18 podemos observar o padrão de estratégia utilizada durante a prova contrarrelógio de 10km antes e após as alterações na EC. O padrão de estratégia de corrida não foi alterado pela melhora na EC. Entretanto, um pequeno deslocamento para cima na curva velocidade-distância pode ser observado durante a segunda metade da prova.

FIGURA 18. Estratégia de prova antes e após a melhora na economia de corrida

Foram observadas diferenças significantes do teste pré para o pós em relação ao tempo para completar os 10km (-1,6%; $p = 0,01$), a VM (1,4%; $p = 0,003$) e a velocidade média na segunda metade de prova (M2) (1,7%, $p = 0,04$). Os valores podem ser observados na Tabela 9.

TABELA 9. Tempo de prova, velocidade média e velocidade para cada etapa da corrida nos sujeitos responsivos ao treinamento pliométrico pré e pós tratamento experimental.

Grupos	Tempo de prova (min:seg)		VM (km/h)		V400 (km/h)		M1 (km/h)		M2 (km/h)		SF (km/h)	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
TP	41:29	40:49	14,6	14,8	16,3	16,7	14,8	14,9	14,2	14,5	15,8	16,1
	±2:30	±2:26*	±0,9	±0,9*	±1,4	±1,4	±0,8	±0,9	±0,9	±1*	±1,4	±1,3
dif% (TE)	-1,6% (0,3)		1,4% (0,2)		2,6% (0,3)		0,9% (0,2)		1,7% (0,3)		1,9% (0,2)	

TP - grupo treinamento pliométrico, VM - velocidade média, V400 - velocidade média dos primeiros 400m, M1 - velocidade média entre os 401m e 5200m, M2 - velocidade média entre os 5201m e 9600m, SF - velocidade média nos últimos 400m. dif% - diferença percentual do pré para o pós teste, TE - tamanho do efeito. *diferença do pré para o pós, $p < 0,05$.

5.5 Efeitos das alterações na economia de corrida sobre a percepção subjetiva de esforço e o afeto

A melhora na EC não alterou a PSE durante a prova de 10km. Não foram observadas diferenças da corrida pré para a pós na V400 ($9,4 \pm 1,9$ vs $8,1 \pm 1,4$; $p = 0,8$), na M1 ($11,4 \pm 1,2$ vs $11,4 \pm 2,3$; $p = 0,9$), na M2 ($14,8 \pm 2,1$ vs $15,4 \pm 2,5$; $p = 0,9$) e na SF ($17,4 \pm 2,3$ vs $18,4 \pm 2,5$; $p = 0,9$).

Resultados semelhantes foram observados em relação ao afeto. Não foram observadas diferenças significantes da corrida pré para a pós na V400 ($1,6 \pm 2,5$ vs $2,3 \pm 2,2$; $p = 0,9$), na M1 ($1,4 \pm 2,7$ vs $1,8 \pm 1,9$; $p = 0,9$), na M2 ($0,9 \pm 3,01$ vs $0 \pm 3,2$; $p = 0,9$) e na SF ($0,1 \pm 3,2$ vs $0 \pm 3,5$; $p = 0,9$). Os comportamentos da PSE e do afeto durante a prova de 10km podem ser observados na Figura 19.

FIGURA 19. Comportamento da PSE e do afeto durante corrida de 10km após alterações na EC. A - PSE pré vs pós. B - Afeto pré vs pós.

5.6 Salto em profundidade e cinco saltos horizontais com pernas alternadas

Não foram observadas diferenças no pré-teste para a altura do SP, o tempo de contato com solo (TC), o índice de força reativa (IFR) e a distância dos saltos horizontais (SH) entre os grupos C e TP. Após oito semanas de tratamento experimental foi observado aumento significativo na altura do SP no grupo TP (7,2%; $p = 0,004$). Não houve diferença para a altura do SP no grupo C ($p = 0,6$). Não foram observadas diferenças significantes entre os grupos ou tempo para o TC, IFR e SH, apesar da tendência de aumento no IFR para o fator principal tempo (pré vs pós; $p = 0,08$). Os resultados dos testes de saltos podem ser observados na Tabela 10.

TABELA 10. Altura do salto vertical, tempo de contato com o solo, índice de força reativa e distância no salto horizontal nos grupo controle e treinamento pliométrico pré e pós tratamento experimental.

Grupo	Altura do Salto Vertical (SV, cm)		
	Pré	Pós	dif% (TE)
C	33,2 ± 3,4	34,2 ± 2,5	3,05 (0,2)
TP	34,3 ± 6	36,8 ± 5,3*	7,2 (0,4)

Grupo	Tempo de contato com o solo (TC, s)		
	Pré	Pós	dif% (TE)
C	0,4 ± 0,14	0,37 ± 0,13	-6,5 (0,2)
TP	0,41 ± 0,1	0,39 ± 0,07	-5,01 (0,2)

Grupo	Índice de força reativa (IFR, cm/s)		
	Pré	Pós	dif% (TE)
C	94,01 ± 37,7	104,9 ± 43,1	11,6 (0,3)
TP	88,29 ± 23,3	97,6 ± 20,3	10,5 (0,4)

Grupo	Distância do salto horizontal (SH, m)		
	Pré	Pós	dif% (TE)
C	10,8 ± 0,7	10,4 ± 0,6	-3,2 (0,2)
TP	10,8 ± 1,1	10,8 ± 0,9	-0,37 (0,04)

C - grupo controle, TP - grupo treinamento pliométrico, dif% - diferença percentual do pré para o pós-teste, TE - tamanho do efeito. *diferença pré vs pós ($p = 0,004$).

5.7 Força dinâmica máxima e torque isométrico máximo (CVIM)

Não foram observadas diferenças significantes em relação à força dinâmica máxima no exercício *leg-press* 45° e no torque isométrico máximo (CVIM) para a extensão do joelho entre os grupos no início do estudo ou após oito semanas de tratamento experimental (Tabela 11).

TABELA 11. Força dinâmica máxima e torque isométrico máximo nos grupos controle e treinamento pliométrico pré e pós tratamento experimental.

Grupo	Força dinâmica máxima (1 RM; kg)		
	Pré	Pós	dif% (TE)
C	287 ± 33,9	289 ± 36,7	0,8 (0,07)
TP	300 ± 60,2	295 ± 59,1	-1,6 (0,08)

Grupo	Torque isométrico máximo (Nm)		
	Pré	Pós	dif% (TE)
C	283 ± 70,5	266 ± 57,1	-5,7 (0,2)
TP	255 ± 56,4	247 ± 58,1	-3,1 (0,1)

C - grupo controle, TP - grupo treinamento pliométrico, dif% - diferença percentual do pré para o pós teste, TE - tamanho do efeito.

5.8 Teste progressivo máximo

Não foram observadas diferenças entre os grupos para as variáveis analisadas no início do estudo. Após oito semanas, o grupo TP apresentou melhora significativa no $\text{VO}_2\text{máx}$ (3,4%; $p = 0,035$) e no PV (1,6%; $p = 0,02$). Não foi observada alteração no $\text{vVO}_2\text{máx}$ do pré para o pós teste. Os resultados do teste progressivo máximo podem ser observados na Tabela 12.

TABELA 12. Consumo máximo de oxigênio, pico de velocidade na esteira e velocidade do VO₂máx máximo nos grupos controle e treinamento pliométrico pré e pós tratamento experimental.

Grupo	Consumo máximo de oxigênio (VO ₂ máx, ml/kg/min)		
	Pré	Pós	dif% (TE)
C	56,7 ± 6,2	57,2 ± 6,7	0,8 (0,1)
TP	55,1 ± 4,3	56,9 ± 4,7*	3,4 (0,4)

Grupo	Pico de velocidade na esteira (PV, km/h)		
	Pré	Pós	dif% (TE)
C	18,7 ± 1,3	18,8 ± 1,6	0,2 (0,03)
TP	18,2 ± 0,9	18,5 ± 0,8*	1,6 (0,35)

Grupo	Velocidade do VO ₂ máx (VVO ₂ máx, km/h)		
	Pré	Pós	dif% (d ES)
C	18,1 ± 1,1	18,2 ± 1,3	0,6 (0,06)
TP	17,5 ± 0,7	17,4 ± 0,7	0,7 (0,2)

C - grupo controle, TP - grupo treinamento pliométrico, dif% - diferença percentual do pré para o pós teste, TE - tamanho do efeito, *diferença pré vs pós, p<0,05.

Não foram observadas diferenças nos limiares ventilatórios 1 e 2 entre os grupos no início do estudo. Após o período experimental não foram observadas diferenças significantes no grupo C para os limiares ventilatórios 1 e 2 e no grupo TP para o limiar ventilatório 1. Após oito semanas de treinamento, foi observada uma tendência de aumento no VO₂ (3,4%; p = 0,08) e o aumento significativo da velocidade (2,9%; p = 0,01) no limiar ventilatório 2 para o grupo TP quando comparado aos valores pré treinamento (Tabela 13).

TABELA 13. Velocidade, consumo de oxigênio, frequência cardíaca e percepção subjetiva de esforço nos limiares ventilatórios 1 e 2 para os grupos controle e treinamento pliométrico pré e pós tratamento experimental.

		Limiar ventilatório 1			Limiar ventilatório 2		
		Pré	Pós	dif% (TE)	Pré	Pós	dif% (TE)
Velocidade (km/h)	C	12,7 ± 1,2	12,7 ± 1,1	0 (0,01)	15,5 ± 2,7	15,6 ± 2,6	0,9 (0,06)
	T	12,6 ± 0,7	12,9 ± 0,6	2,4 (0,1)	15,5 ± 1	16 ± 1*	2,9 (0,5)
VO ₂ (ml/kg/min)	C	42,1 ± 5,5	42,8 ± 5,5	1,8 (0,1)	50 ± 5,8	50,9 ± 5,6	1,7 (0,1)
	T	42,3 ± 3,2	43,8 ± 4,3	3,7 (0,4)	49,9 ± 3,8	51,6 ± 4,2	3,4 (0,4)
FC (bpm)	C	159,4 ± 11	157,8 ± 11	-1,0 (0,1)	174,3 ± 10,3	173,2 ± 8,7	-0,6 (0,1)
	T	158,9 ± 12,4	159,4 ± 12,5	0,3(0,04)	177,4 ± 12	175,3 ± 10,8	-1,2 (0,2)

C - grupo controle, TP - grupo treinamento pliométrico, VO₂ - consumo de oxigênio, FC - frequência cardíaca, dif% - diferença percentual do pré para o pós-teste, TE - tamanho do efeito, *diferença pré vs pós (p = 0,01).

5.9 *Stiffness* do tendão patelar

Não foram observadas diferenças no *stiffness* do tendão patelar entre os grupos no início do estudo ou após oito semanas de tratamento experimental. O *stiffness* do tendão patelar pré e pós pode ser observado na Figura 20.

FIGURA 20. *Stiffness* de tendão patelar (relação força-alongamento) nos grupos controle e treinamento pliométrico pré e pós tratamento experimental. A - Grupo controle, B - Grupo treinamento pliométrico. Os valores de desvio padrão foram retirados para melhor visualização e são apresentados na Tabela 14.

Não foram observadas diferenças no *stiffness* do tendão patelar para os intervalos de 0 a 50% ou de 50% a 100% da CVIM, no alongamento máximo do tendão patelar e na força máxima durante a CVIM (Tabela 14).

TABELA 14. *Stiffness* do tendão patelar, alongamento máximo do tendão patelar e força isométrica máxima para os grupos controle e treinamento pliométrico pré e pós tratamento experimental.

	Grupos					
	C			TP		
	Pré	Pós	dif% (TE)	Pré	Pós	dif% (TE)
Rigidez 0-50% (Nm)	983,8 ± 683,8	919,2 ± 616,2	-6,5 (0,1)	783,5±411,4	861,4±634,1	9,94 (0,15)
Rigidez 50%-100% (Nm)	1201,8 ± 674,2	1155,9 ± 396	-3,82 (0,1)	1091,8±463,3	1347,8±592,3	23,44 (0,5)
Alongamento (mm)	7,8 ± 2,9	6,8 ± 1,3	-13,6 (0,5)	8,3±2,7	7,7±1,6	-6,6 (0,26)
Força (N)	6133,2 ± 1332,7	5795,1 ± 1169	-5,5 (0,06)	5788,1±1270,6	5626,9±1207,3	-2,8 (0,03)

C - grupo controle, TP - grupo treinamento pliométrico, dif% - diferença percentual do pré para o pós-teste, TE - tamanho do efeito.

5.10 Medidas por ultrassonografia

Não foram observadas diferenças entre os grupos antes do treinamento, sendo apenas observada uma tendência para a maior espessura do tendão patelar na região distal no grupo C em relação ao TP ($p=0,06$). Após o período experimental, não foram observadas alterações na espessura do vasto lateral, no ângulo de penação do vasto lateral, na espessura no tendão patelar na região proximal, na espessura do gastrocnêmio e na espessura do tendão calcâneo. O grupo TP apresentou maior espessura de tendão patelar na região distal (10,1%; $p = 0,05$) e menor ângulo de penação no gastrocnêmio (-11,1; $p = 0,04$) após oito semanas de treinamento (Tabela 15).

TABELA 15. Medidas por ultrassonografia (espessura e ângulo de penação) nos músculos vasto lateral e gastrocnêmio e nos tendões patelar e calcâneo para os grupos controle e treinamento pliométrico pré e pós tratamento experimental.

	Grupos					
	C			TP		
	Pré	Pós	dif% (TE)	Pré	Pós	dif% (TE)
VL (mm)	24,2±4,2	22,4±3,1	-7,2 (0,5)	25,3±2,7	24,5±3,7	-3,1 (0,2)
Pen.VL (°)	18,7±3,9	18,6±2,1	-0,6 (0,0)	18,5±3,6	17,7±2,9	-4,3 (0,2)
Gastro (mm)	14,8±1,4	14,9±1,6	0,3 (0,0)	15,1±1,8	15,5±2	2,3 (0,2)
Pen.Gastro (°)	19,6±4,1	19,2±3,9	-1,5 (0,1)	19,4±2,4	17,3±2,8*	-11,1 (0,8)
TP Proximal (mm)	4,9±1,0	4,9±0,5	-1,2 (0,1)	4,5±0,7	4,8±0,6	5,7 (0,4)
TP Distal (mm)	4,6±0,5	4,7±0,3	3,6 (0,4)	4,1±0,7	4,6±0,5*	10,1 (0,7)
TC (mm)	5,1±0,8	4,9±0,2	-3,1 (0,3)	4,8±1,3	5,0±1,1	4,2 (0,2)

C - grupo controle, TP - grupo treinamento pliométrico, VL - espessura do músculo vasto lateral, Pen.VL - Ângulo de penação do vasto lateral, Gastro - espessura do músculo gastrocnêmio porção lateral, Pen.Gastro - ângulo de penação do gastrocnêmio porção lateral, TP Proximal - espessura do tendão patelar região proximal, TP Distal - espessura do tendão patelar região distal, TC - espessura do tendão calcâneo, dif% - diferença percentual do pré para o pós teste, TE - tamanho do efeito, *diferença vs pré, $p = 0,05$

6 DISCUSSÃO

O presente estudo testou a hipótese de que a melhora na EC poderia alterar a estratégia de prova utilizada pelos atletas durante uma corrida de 10km contrarrelógio. Para induzir a melhora na EC foi utilizado um protocolo de treinamento pliométrico (TP), realizado durante oito semanais, com duas sessões semanais. O TP utilizado foi efetivo, uma vez que observamos aumento na altura do SP e melhora na EC de 3,6% para 10km/h e de 4,9% para 12km/h (Figura 15).

Os principais resultados do estudo mostraram que a melhora da EC não alterou o padrão de estratégia de prova utilizada pelos atletas, não confirmando a nossa hipótese. Por outro lado, apesar de não alterar o padrão de estratégia, a melhora da EC possibilitou aos atletas desenvolverem maiores velocidades durante a segunda metade da corrida, o que foi refletido na melhora de 1,6% no desempenho. As alterações induzidas pelo treinamento pliométrico sobre a EC parecem estar associadas a melhor utilização do CAE, possivelmente induzidas por adaptações estruturais em músculos e tendões, como a maior espessura do tendão patelar na região distal e o menor ângulo de penetração no músculo gastrocnêmio porção lateral.

Para facilitar a compreensão a discussão será dividida em três partes. Primeiro discutiremos a estratégia de prova utilizada pelos nossos atletas. Em uma segunda parte abordaremos a influência da EC sobre a estratégia de prova utilizada. Por fim, discutiremos as principais alterações induzidas pelo treinamento pliométrico que podem ter participado na melhora da EC.

6.1 Estratégia de prova e desempenho

A análise da estratégia de prova mostrou que os atletas realizaram uma estratégia de padrão variável, com início rápido. Após os primeiros 400m de corrida a velocidade foi progressivamente reduzida até a última volta, quando foi observado um novo aumento da velocidade, caracterizando o *sprint*-final (Figura 16). Esse padrão de estratégia tem sido verificado em provas de média e longa duração (HAUSSWIRTH et al., 2010; LIMA-SILVA et al., 2010; TUCKER; LAMBERT; NOAKES, 2006). Tucker, Lambert e Noakes (2006) mostraram estratégias semelhantes em recordistas mundiais nos 5km e 10km. De maneira similar, Lima-Silva et al. (2010) analisaram a estratégia de prova durante uma corrida contrarrelógio de 10km e sugeriram que atletas de alto desempenho (tempo < 35,6min)

realizam estratégias mais agressivas, com velocidades iniciais 8% maiores do que a velocidade média da corrida, quando comparados a corredores com piores desempenhos (tempo > 39,1min). Assim como os atletas de alto desempenho no estudo de Lima-Silva et al. (2010), os corredores do presente estudo realizaram estratégias com velocidades iniciais mais altas do que a média (8,6%), apesar do tempo total dos 10km ser >40min (Tabela 8). Portanto, os resultados do presente estudo mostram que atletas amadores, com desempenho intermediário em provas de 10km, também utilizam estratégias de prova mais agressivas com início rápido, indicando que a escolha da estratégia parece não estar relacionada apenas ao nível de desempenho do corredor.

As altas velocidades no início da prova podem estar associadas a experiência dos nossos participantes, uma vez que os mesmos tinham mais de dois anos de experiência, sem interrupção, em provas de 10km e volume semanal de treinamento em torno de 55km/semana. Swart et al. (2009a) mostraram que a familiaridade com o teste proposto está relacionada à utilização de estratégias de prova mais agressivas. Os autores avaliaram a estratégia utilizada em repetidos contrarrelógios de 40km no ciclismo e observaram que a estratégia de prova foi se tornando mais agressiva a medida que os testes se repetiam. Resultados semelhantes foram observados por Micklewright et al. (2010) durante uma prova contrarrelógio de 20km de ciclismo em que a estratégia de prova parece ter sido definida com base na interação entre a distância da prova e as experiências prévias. Com isso, podemos supor que a experiência adquirida pelos nossos participantes nos anos de treinamento e competições permitiram a utilização de estratégias de prova mais agressivas, com altas velocidade iniciais, para maximizar o desempenho durante uma corrida de 10km.

A familiarização com a prova realizada pode ser verificada pela alta reprodutibilidade da estratégia e o desempenho (Figura 7), ponto extremamente relevante, uma vez que a análise da reprodutibilidade é importante para determinarmos a efetividade de uma intervenção (HOPKINS, 2000). A reprodutibilidade do desempenho em corridas tem sido bem demonstrada na literatura. Doyle e Martinez (1998) mostraram um coeficiente de variação (CV) em torno de 4,4% para a distância de 5,05km, mesmo após 90 minutos de corrida em esteira em intensidade moderada (70% do $\text{VO}_2\text{máx}$). Protocolo semelhante foi utilizado por Russell et al. (2004) os quais observaram um CV de 1,05% no desempenho de uma corrida de 10km. Machado et al. (2013) também analisaram a reprodutibilidade do desempenho em uma prova de 10km em pista de atletismo de 400m. Os autores mostraram uma variação de 2,43% no tempo de prova. Adicionalmente mostraram que 14 sujeitos seriam suficientes para a determinação da reprodutibilidade nessas condições. Os resultados do

presente estudo corroboram com os observados por Machado et al. (2013). No presente estudo, 15 indivíduos foram utilizados para determinação da reprodutibilidade, sendo observado um CCI de 0,98 e um CV de 1,7% (Tabela 4), confirmando a alta reprodutibilidade no desempenho em uma corrida de 10km contrarrelógio.

Adicionalmente ao desempenho, os resultados do presente estudo mostram também a alta reprodutibilidade da estratégia de prova utilizada. Apenas um estudo analisou a reprodutibilidade da estratégia de prova, sendo esse realizado durante um contrarrelógio de 20km de ciclismo. Os autores observaram que o padrão de estratégia de prova foi reproduzido em três diferentes provas de contrarrelógios. No entanto, uma maior variabilidade foi observada no início e no final da prova (THOMAS et al., 2012). Resultados semelhantes foram observados no presente estudo em que, apesar da alta reprodutibilidade observada em todas as etapas da corrida, os menores valores de CCI foram observados no início (0,86) e no final (0,83) da corrida. Os nossos resultados mostram que atletas amadores, porém experientes em provas de 10km, realizam estratégias com início rápido, sendo tanto o desempenho quanto o padrão de estratégia de prova altamente reprodutíveis.

6.2 Alterações na economia de corrida e a estratégia de prova

Lima-Silva et al. (2010) investigaram quais variáveis fisiológicas e/ou parâmetros tradicionalmente aceitos como marcadores de desempenho poderiam influenciar a estratégia de prova em uma corrida simulada de 10km. Os autores observaram que estratégias de prova mais agressivas estavam associadas a variáveis como o PV e a EC. Resultados semelhantes foram apresentados por Bertuzzi et al. (2014) e Carmo et al. (2012) em que o PV aparece como uma das principais variáveis determinantes da estratégia de prova em uma corrida de 10km. De fato, ambos os fatores estariam associados ao menor estresse fisiológico e metabólico durante a corrida, o que poderia refletir diretamente sobre os ajustes na estratégia de prova (FAULKNER; PARFITT; ESTON, 2008; HARGREAVES, 2008; NOAKES, 2007; PIRES et al., 2011).

Após as oito semanas de treinamento pliométrico, observamos melhora na EC em 3,6% para 10km/h, em 4,9% para os 12km/h (Tabela 7) e o PV aumentou em 1,6% (Tabela 12). Em acordo com outros estudos, estes resultados indicam o efeito positivo do treinamento pliométrico sobre a EC (PAAVOLAINEN et al., 1999a; SAUNDERS et al., 2006; SPURRS; MURPHY; WATSFORD, 2003). Paavolainen et al. (1999a) mostraram melhora na EC após

nove semanas de treinamento de potência envolvendo exercício pliométrico, sendo essa associada ao melhor desempenho em provas de 5km. Spurrs, Murphy e Watsford (2003) observaram melhora na EC de 6,7% para velocidade de 12km/h, de 6,4% para os 14km/h e de 4,1% para os 16km/h após seis semanas de treinamento pliométrico. A melhora da EC foi associada à melhora de 2,7% no desempenho em corrida de 3km.

No presente estudo, apesar da melhora na EC após oito semanas de treinamento pliométrico, não observamos alterações no desempenho na corrida de 10km quando todos os sujeitos foram analisados. Entretanto, quando apenas os sujeitos classificados como responsivos ao treinamento pliométrico (n=11) foram analisados, observamos melhora de 1,6% no desempenho (Tabela 9). Foram considerados como responsivos os sujeitos que apresentaram melhora acima de 3,5% para a EC a 10km/h e/ou a 12 km/h. O valor de 3,5% foi utilizado por estar acima da variação esperada para a EC (MORGAN et al., 1991). Assim, os resultados do presente estudo corroboram com a literatura uma vez que os indivíduos que melhoraram a EC após o treinamento apresentaram melhora no desempenho dos 10km. Uma melhora de 5% na EC é relacionada à melhora do desempenho em cerca de 3,8% (FOSTER; LUCIA, 2007).

Adicionalmente, os resultados sugerem que a melhora no desempenho em uma corrida de 10km atribuída a EC é decorrente da capacidade do atleta em manter maiores velocidades durante a segunda metade de prova (5200 aos 9600m). Essa manutenção da velocidade pode ser decorrente do menor estresse fisiológico e metabólico durante a primeira metade da prova, uma vez que corredores mais econômicos são capazes de manter a mesma velocidade com menores alterações metabólicas (FOSTER; LUCIA, 2007; SAUNDERS et al., 2004).

Diferente do esperado, o padrão de estratégia de prova durante uma corrida de 10km contrarrelógio não foi alterado pela melhora da EC e do PV (Figura 16), mesmo quando apenas os sujeitos responsivos foram analisados (Figura 18). Como discutido anteriormente, a estratégia de prova parece ser determinada por um padrão pré-estabelecido baseado em experiências prévias e na distância a ser percorrida (ST CLAIR GIBSON et al., 2006). Assim, em provas mais longas os atletas desenvolveriam ao longo dos anos de treinamento um padrão de distribuição de intensidade de esforço, o que permitiria o término da prova no melhor tempo possível, sem fadiga prévia, sendo esse dificilmente alterado (HETTINGA et al., 2006). A manutenção no padrão da estratégia de prova utilizada pode estar associada a não alteração no comportamento da PSE e do afeto durante a corrida (Figuras 17 e 19).

A PSE tem sido considerada um importante fator no controle da estratégia de prova, principalmente por representar de maneira integrada e consciente as variações fisiológicas e

psicológicas geradas pelo esforço (NOAKES, 2004a; NOAKES et al., 2004). Durante a corrida, o atleta compararia constantemente a PSE momentânea com a PSE esperada para aquele momento, ajustando a intensidade do exercício para atingir os maiores níveis de PSE apenas no final da prova (TUCKER, 2009; TUCKER; NOAKES, 2009). Comportamento semelhante foi observado no presente estudo em que a PSE aumentou progressivamente durante a corrida de 10km, atingindo os maiores valores nos últimos metros. O aumento da PSE tem sido associado à redução da velocidade. Carmo et al. (2011) observaram uma correlação negativa ($r = -0,8$) entre a PSE e a velocidade de corrida, sendo essa perdida nos últimos metros, quando a velocidade aumenta concomitante à PSE. Nesse sentido, a redução gradual da velocidade após os primeiros 400m observada neste estudo poderia estar relacionada ao aumento da PSE.

O aumento da PSE durante uma corrida parece ser determinado previamente conforme a duração da prova (ALBERTUS et al., 2005; NOAKES, 2004a), sendo esse padrão de aumento dificilmente modificado (FAULKNER; PARFITT; ESTON, 2008; JOSEPH et al., 2008; RENFREE et al., 2012), o que suporta os resultados de presente estudo, uma vez que não observamos mudanças na PSE após a melhora da EC. No entanto, após a melhora da EC velocidades maiores foram observadas na segunda metade da prova para a mesma PSE, o que sugere uma possível dissociação entre o aumento na PSE e a intensidade do esforço.

A dissociação entre o aumento da PSE e a intensidade do esforço tem sido sugerida por outros estudos. Em trabalhos nos quais a fadiga prévia foi induzida, os atletas reduziram a intensidade do esforço, mas a PSE apresentou o mesmo padrão de aumento da condição controle (DE MORREE; MARCORA, 2013; MARCORA; BOSIO; DE MORREE, 2008). Resultados semelhantes têm sido observados com alterações da temperatura, sendo a intensidade reduzida durante uma prova contrarrelógio de 100km realizada em temperatura de 34°C em comparação à temperatura de 10°C, mas apesar das alterações na intensidade do esforço o padrão de aumento da PSE foi o mesmo em ambos os testes (ABBISS et al., 2010). Lima-Silva et al. (2012) observaram que a adição de música durante os primeiros 1,5km foi responsável por um aumento da velocidade de corrida, no entanto, a PSE não foi alterada. Juntos, os resultados dos estudos sugerem que o aumento da PSE durante uma corrida parece ser determinado previamente, conforme a duração/distância da prova, sendo a intensidade do esforço ajustada para a manutenção desse padrão.

Adicionalmente à PSE, o afeto também tem sido demonstrado por ter importante papel nos ajustes da estratégia de prova e diretamente relacionado à intensidade do esforço (MICKLEWRIGHT et al., 2010; RENFREE et al., 2012). Renfree et al. (2012) mostraram

que durante diferentes provas contrarrelógios de 20km de ciclismo os atletas apresentaram o mesmo comportamento de aumento da PSE. No entanto, na prova em que o melhor desempenho foi observado, valores mais positivos de afeto foram relatados. Por outro lado, na prova em que o pior desempenho foi observado os valores de afeto foram mais negativos. Assim, os autores sugeriram que o afeto seria mais importante para o desempenho do que a própria PSE.

No presente estudo, ao contrário da PSE, as sensações afetivas foram se tornando mais negativas ao longo da prova, apresentando os menores valores ao final dos 10km (Figuras 17 e 19). Resultados semelhantes foram observados em outros estudos em que o afeto foi progressivamente reduzido, ou seja, as sensações foram se tornando mais negativas ao longo da prova (MICKLEWRIGHT et al., 2010; RENFREE et al., 2012). A redução do afeto parece estar relacionada ao aumento na intensidade de percepção do esforço. De fato, tem sido observado que o aumento da PSE é acompanhado pela redução no afeto positivo (BARON et al., 2005; BARON et al., 2008; HARDY; REJESKI, 1989; RENFREE et al., 2012), o que foi corroborado pelo presente estudo no qual o afeto foi reduzido conforme a PSE foi aumentando. Entretanto, apesar do comportamento parecido, nenhuma correlação tem sido encontrada entre o afeto e a PSE, mostrando que são variáveis independentes (HARDY; REJESKI, 1989).

Vale ainda ressaltar que mesmo com a redução do afeto ao longo dos 10km, os valores ao final da prova não chegaram a representar sensações extremamente negativas/desprazerosas, o que poderia ter influenciado a estratégia, mas ficaram muito próximas às sensações neutras. Assim, diferente do observado por Renfree et al. (2012) em uma prova contrarrelógio de 20km no ciclismo, os resultados do presente estudo mostram que durante uma corrida de 10km o afeto (prazer/desprazer) não chega a ser totalmente deprazeroso a ponto de interferir sobre a estratégia de prova. As diferenças nos resultados dos dois estudos poderiam estar relacionadas à maneira como o afeto foi determinado durante os testes. Renfree et al. (2012) utilizaram duas escalas de 0 a 10, em que uma representou o afeto positivo e a outra o afeto negativo (Worcester scale) (RHODEN; WEST, 2010). Dessa maneira, as variações no afeto positivo e negativo poderiam ser mais facilmente identificadas quando comparada a escala utilizada no nosso estudo, no qual foi utilizado uma única escala bipolar (-5 a +5) (HARDY; REJESKI, 1989) e o participante fornece apenas uma única resposta. Futuros estudos poderiam ser realizados para entender melhor como alterações nas sensações de prazer/desprazer poderiam interferir sobre a relação risco e benefício no controle da estratégia de prova.

As sensações afetivas durante a corrida de 10km não foram alteradas após a melhora na EC, sugerindo que o comportamento do afeto não seria influenciado pela EC, mas sim por outros fatores. A relação entre afeto e intensidade parece estar mais associada a alterações psicológicas associadas à relação risco e recompensa, como a auto percepção de eficiência, a capacidade de atingir o objetivo proposto no teste realizado e as experiências prévias (EKKEKAKIS; LIND; VAZOU, 2010; ESTON et al., 2012; ROSE; PARFITT, 2008). De fato, Eston et al. (2012) analisaram o afeto em corrida e ciclismo em condições de decepção, ou seja, em que a duração do esforço era alterada repentinamente durante o exercício. Comportamento semelhante ao do presente estudo foi observado e as sensações afetivas foram progressivamente se tornando negativas conforme a duração do esforço. Os autores mostraram mudanças negativas nos sentimentos afetivos com a alteração repentina da duração do esforço. Por exemplo, quando o sujeito foi informado antes do exercício que correria 10 minutos e após esse tempo foi orientado a correr por mais 10 minutos, eles apresentaram sensações afetivas negativas, sendo essa dissociada de alterações fisiológicas ou intensidade do esforço. Assim, alterações na EC não alteram as sensações afetivas durante uma corrida de 10km contrarrelógio, sendo essas associadas a fatores psicológicos na relação risco e recompensa. Entretanto, no presente estudo não verificamos como essas alterações poderiam influenciar o afeto.

6.3 Treinamento pliométrico e economia de corrida

Na tentativa de melhorar a EC o presente estudo utilizou um programa de treinamento pliométrico com características semelhantes ao proposto por Spurr, Murphy e Watsford (2003) os quais verificaram um aumento de $\cong 6,4\%$ na EC em atletas com mais de 10 anos de experiência em corrida de longa duração.

A grande vantagem do treinamento pliométrico na melhora da EC parece estar relacionada à realização de movimentos com a aplicação do CAE. De fato, quando o treinamento de potência foi realizado de forma tradicional com 40% 1RM e alta velocidade de execução, mas sem a fase de propulsão ao final do movimento, não foi observada alteração na EC (GUGLIELMO; GRECO; DENADAI, 2009). Por outro lado, a utilização de exercícios pliométricos, com grande utilização do CAE e a realização de movimentos específicos para a corrida, tem comprovadamente melhorado a EC (BERRYMAN; MAUREL; BOSQUET,

2010; PAAVOLAINEN et al., 1999a; SAUNDERS et al., 2006; SPURRS; MURPHY; WATSFORD, 2003).

A melhora da EC e do desempenho em provas de resistência após o treinamento pliométrico tem sido atribuída a adaptações neuromusculares, uma vez que pouco ou nenhum efeito tem sido observado sobre o $\text{VO}_2\text{máx}$ (MIKKOLA et al., 2007; PAAVOLAINEN et al., 1999a; SPURRS; MURPHY; WATSFORD, 2003; TURNER; OWINGS; SCHWANE, 2003). No entanto, diferente do relatado na literatura, no presente estudo foi observado um aumento de 3,4% no $\text{VO}_2\text{máx}$ após oito semanas de treinamento pliométrico. A discrepância nos resultados pode estar relacionada às diferentes características da amostra. No nosso estudo foram avaliados corredores amadores com $\text{VO}_2\text{máx}$ em torno de $55,1 \pm 4,3$ ml/kg/min (Tabela 12), enquanto os sujeitos no estudo de Paavolainen et al. (1999) apresentavam $\text{VO}_2\text{máx}$ em torno de 63,7 ml/kg/min e no estudo de Spurrs, Murphy e Watsford (2003) de 57,9 ml/kg/min. Por outro lado, no estudo de Potteiger et al. (1999), o treinamento pliométrico, realizado por oito semanas, aumentou em 13,8% o $\text{VO}_2\text{máx}$ de indivíduos fisicamente ativos. Assim, os efeitos do treinamento pliométrico sobre o $\text{VO}_2\text{máx}$ poderiam ser atribuídos ao estado de treinamento dos corredores analisados, os quais deveriam ser mais suscetíveis as adaptações cardiorrespiratórias quando comparados a corredores de alto rendimento (MARKOVIC; MIKULIC, 2010). Entretanto, Turner, Owings e Schwane (2003) avaliaram corredores com nível semelhante ao do presente estudo ($\text{VO}_2\text{máx} = 54,4$ ml/kg/min) e não observaram diferenças no $\text{VO}_2\text{máx}$ após seis semanas de treinamento pliométrico.

O aumento no $\text{VO}_2\text{máx}$ poderia ainda estar associado a maior habilidade do sistema neuromuscular em produzir potência durante o exercício máximo, quando a contratilidade muscular está prejudicada, o denominado *muscle power* (NOAKES, 1988; PAAVOLAINEN et al., 1999a; PAAVOLAINEN; NUMMELA; RUSKO, 2000). Resultados que suportam os nossos dados foram observados por Esteve-Lanao et al. (2008) e Paavolainen et al. (1999a). Ambos mostraram que o treinamento pliométrico melhorou o *muscle power*, sendo esse associado ao aumento do PV no teste de corrida anaeróbio máximo, fato também observado no presente estudo (Tabela 12). Uma vez que o PV e o *muscle power* são determinados por características neuromusculares e contribuição anaeróbia (PAAVOLAINEN; NUMMELA; RUSKO, 2000), o aumento da força ou da potência muscular poderia contribuir com a melhora dessas variáveis.

Em relação à força muscular, não foram observados aumentos na força máxima dinâmica no *leg-press* 45° ou na CVIM na extensão do joelho (Tabela 11), resultado parcialmente diferente dos observados na literatura. Markovic e Mikulic (2010) realizaram

uma revisão sistemática de literatura abordando as adaptações neuromusculares induzidas pelo treinamento pliométrico e observaram uma grande variação nos resultados em relação aos efeitos do treinamento pliométrico sobre a força muscular (3,2% a 45,1%). Por outro lado, Os resultados do presente estudo são semelhantes aos observados por Kyrolainen et al. (2005) em que não houve aumento da força muscular durante a extensão de joelho após 15 semanas de treinamento pliométrico. Assim, os efeitos do treinamento pliométrico sobre o aumento da força ainda são controversos.

Alguns estudos têm atribuído os ganhos de força após o treinamento pliométrico à hipertrofia muscular (HAKKINEN; KOMI; ALEN, 1985; PEREZ-GOMEZ et al., 2008). Potteiger et al. (1999) mostraram aumento da força muscular na extensão do joelhos, sendo essa associada ao aumento da área de secção transversa das fibras do tipo I e do tipo II no músculo vasto lateral. Resultados semelhantes foram mostrados por Malisoux et al. (2006) em que o aumento na força muscular de extensores de joelho foi acompanhado pelo aumento no diâmetro das fibras musculares. No presente estudo não avaliamos a área de secção transversa das fibras ou dos músculos, mas foi avaliada a espessura dos músculos vasto lateral e gastrocnêmio porção lateral, o que pode ser considerado um indicativo das alterações sobre a área de secção transversa (MIYATANI et al., 2002). Diferente dos estudos anteriores, não foram observadas alterações na espessura dos músculos vasto lateral e gastrocnêmio porção lateral. Assim, a não alteração da força muscular observada no presente estudo pode ter ocorrido pelo fato do treinamento realizado não ter alterado a espessura muscular.

Nesse sentido, o aumento no PV pode ter sido induzido pelo aumento da potência muscular. De fato, observamos melhora da potência muscular, sendo essa sugerida pelo aumento de 7,2% na altura do SP. Resultados semelhantes foram relatados em outros estudos em que a melhora na velocidade e potência foram observadas sem alterações na hipertrofia muscular (HICKSON et al., 1988; HICKSON; ROSENKOETTER; BROWN, 1980; PAAVOLAINEN; HAKKINEN; RUSKO, 1991). Os resultados do presente estudo estão em acordo com a literatura, uma vez que tem sido relatado aumento entre 1,4 a 32,4% no desempenho do SP após treinamento pliométrico (MARKOVIC; MIKULIC, 2010). No entanto, não foram observadas diferenças significantes no TC, no IFR e no desempenho no SH (Tabela 10). A falta de alteração nessas variáveis pode estar relacionada às diferentes características do treinamento e dos testes realizados (BOBBERT et al., 1986). Tem sido mostrado que os efeitos do treinamento pliométrico são específicos aos exercícios utilizados durante o programa de treinamento (MARKOVIC; MIKULIC, 2010). Assim, a utilização de

plataformas de saltos mais baixas ou a determinação da melhor altura para cada atleta poderia ter identificado melhoras no TC ou no IFR.

Outro ponto que deve ser levado em consideração é o fato do treinamento de corrida *per se* induzir efeitos positivos sobre o CAE. Saunders et al. (2006) observaram maior habilidade na utilização do CAE em indivíduos treinados comparados a não treinados e em corredores de longa distância em relação a corredores de média distância. Assim, devido a maior habilidade dos corredores na utilização do CAE, induzida pelo tempo de treinamento de corrida, o treinamento pliométrico utilizado no presente estudo pode não ter sido suficiente para induzir maiores efeitos sobre esse mecanismo. Spurrs, Murphy e Watsford (2003) realizaram o treinamento pliométrico com exercícios semelhantes aos do presente estudo e observaram melhora de 7,8% no SH em corredores com 10 anos de experiência. No entanto, no presente estudo o treinamento foi realizado durante oito semanas, com duas sessões semanais, enquanto que Spurrs, Murphy e Watson (2003) realizaram o treinamento por seis semanas, sendo que nas últimas foram realizadas três sessões semanais. Talvez a intensificação do treino nas últimas semanas seja importante para melhorar a CAE em corredores com longo tempo de treinamento. Contudo, de acordo com os resultados do presente estudo, podemos sugerir que os corredores foram capazes de produzir maior potência com o mesmo TC com o solo, o que poderia estar relacionado à maior habilidade na utilização do CAE.

As alterações no CAE, e consequentemente na EC, induzidas pelo treinamento pliométrico podem ser atribuídas a diferentes fatores, entre eles as mudanças na estrutura de músculos e tendões (BLAZEVOICH et al., 2003; BLAZEVOICH; GILL; ZHOU, 2006) e no *stiffness* músculo-tendão (BERRYMAN; MAUREL; BOSQUET, 2010; KUBO et al., 2010; SPURRS; MURPHY; WATSFORD, 2003). Após oito semanas de treinamento houve aumento na espessura do tendão patelar na região distal, sem alterações na região proximal ou no tendão calcâneo (Tabela 15). Esses resultados corroboram com a literatura na qual o aumento na espessura dos tendões tem sido observado após o treinamento de força e/ou potência (ARAMPATZIS; KARAMANIDIS; ALBRACHT, 2007; FOURE; NORDEZ; CORNU, 2010; KUBO; KANEHISA; FUKUNAGA, 2002). Essas alterações podem ser decorrentes das mudanças induzidas pela sobrecarga crônica sobre a densidade das fibras de colágeno (MICHNA; HARTMANN, 1989; REEVES; NARICI; MAGANARIS, 2003), sendo associadas a mudanças no *stiffness* músculo-tendão (ALBRACHT; ARAMPATZIS, 2013; BERRYMAN; MAUREL; BOSQUET, 2010; FOURE et al., 2011; KUBO et al., 2010; PAAVOLAINEN et al., 1999a; SPURRS; MURPHY; WATSFORD, 2003) e a

melhora da habilidade na utilização do CAE (BONACCI et al., 2009; KUBO et al., 2010; FLETCHER et al., 2010).

Albracht e Arampatzis (2013) observaram aumento de 16% no *stiffness* do músculo tendíneo no tríceps sural após 14 semanas de treinamento de força envolvendo flexão e extensão plantar em alta velocidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Toumi et al. (2004) após seis semanas de treinamento complexo (exercícios pliométricos combinados com *leg-press*). Os autores relataram aumento de 8,2% no *stiffness* articular do joelho. Entretanto, esses resultados são controversos. Fletcher, Esau e Macintosh (2010) não verificaram alterações no *stiffness* músculo tendíneo do tríceps sural de corredores treinados após oito semanas de treinamento de força. Hunter e Marshall (2002) mostraram que após seis semanas de treinamento de potência o *stiffness* foi reduzido em 1,1–2,3% (BRUGHELLI; CRONIN, 2008). As discrepâncias nos resultados podem ser atribuídas aos diferentes métodos e regiões de mensuração do *stiffness*. Markovic e Mikulic (2010) mostraram que os efeitos do treinamento pliométrico sobre o *stiffness* músculo-tendão foram analisados em diferentes regiões, com diferentes métodos, o que torna difícil chegar a um consenso sobre os resultados observados.

Uma vez que os tendões têm como função primária a transmissão de força contrátil dos músculos para os ossos (BUTLER; CROWELL; DAVIS, 2003) e atuam como uma mola no estoque e utilização da energia elástica durante o CAE (ALEXANDER; BENNET-CLARK, 1977; ETTEMA, 1996), podemos supor que alterações no *stiffness* dos tendões poderiam interferir sobre o CAE e a EC. De fato, durante uma corrida a energia elástica acumulada nas regiões do joelho e do tornozelo corresponde a 75% da energia elástica acumulada em todo o sistema muscular esquelético (SASAKI; NEPTUNE, 2006), representando as principais estruturas envolvidas no gasto energético durante a corrida (ARAMPATZIS et al., 2006). No presente estudo foi avaliado o *stiffness* do tendão patelar.

Após oito semanas de treinamento pliométrico não foram observadas alterações no *stiffness* do tendão patelar entre 0 a 50% ou 50% a 100% da CVIM (Tabela 14). Utilizando a mesma técnica para avaliação do *stiffness* Reeves, Narici e Maganaris (2003) mostraram aumento de 64% do *stiffness* no tendão patelar após 14 semanas de treinamento de força. No entanto, o estudo foi desenvolvido com indivíduos idosos, os quais apresentam uma maior complacência do tendão em comparação a indivíduos mais novos. Com isso, os resultados podem ter ocorrido devido ao estado inicial dos tendões nessa população.

Nossos resultados corroboram com os observados por Kubo et al. (2010). Os autores não observaram diferenças no *stiffness* do tendão patelar em corredores de longa distância

quando comparados a indivíduos não treinados, apesar da maior espessura no tendão patelar nos corredores. Vale ressaltar ainda que foi verificada uma alta correlação entre o menor *stiffness* nos tendões com os melhores tempos em uma prova nos 5km. A falta de alterações com o treinamento em corredores poderia ser atribuída a possível existência de um *stiffness* mínimo necessário para que o desempenho do CAE seja otimizado (SEYFARTH; BLICKHAN; VAN LEEUWEN, 2000).

As alterações no CAE e na EC observadas no presente estudo poderiam estar ainda associadas a mudanças na arquitetura muscular induzidas pelo treinamento pliométrico. De fato, os efeitos do treinamento sobre a arquitetura muscular têm sido demonstrados na literatura. Alegre et al. (2006) mostraram que após um programa de treinamento de potência no meio-agachamento, com 30% a 40% 1RM, houve aumento de 13% no tamanho do fascículo e de 6,9% na espessura do vasto lateral, sendo essas associadas a maior taxa de desenvolvimento de força. O presente estudo apresenta resultados semelhantes, uma vez que foi verificada redução no ângulo de penação dos fascículos no músculo gastrocnêmio sem alteração da espessura muscular, o que leva a suposição de que o treinamento pliométrico aumentou o tamanho dos fascículos nos nossos atletas (Tabela 15).

Apenas um estudo observou os efeitos do treinamento envolvendo exercícios pliométricos, associado a corridas de velocidade, sobre a arquitetura muscular. Após cinco semanas de treinamento foi observada diminuição no ângulo de penação no vasto lateral e aumento no tamanho do fascículo em 24,9%. Adicionalmente, o treinamento de força induziu efeitos opostos ao de potência, com aumento do ângulo de penação e redução no tamanho dos fascículos no vasto lateral. Com isso, os autores sugerem que a arquitetura muscular parece ser alterada por cinco semanas de treinamento, sendo essas específicas as características do treino realizado (BLAZEIVICH et al., 2003). Os resultados do presente estudo corroboram em partes com os de Blazeivich et al. (2003) uma vez que não vimos alterações no vasto lateral. As diferenças podem ser atribuídas aos diferentes protocolos de treinamento realizados. Assim, o presente estudo mostra pela primeira vez que oito semanas de treinamento pliométrico induziu alterações na arquitetura muscular com redução no ângulo de penação dos fascículos no músculo gastrocnêmio de corredores. Essas alterações podem estar envolvidas na melhora da EC e da utilização do CAE, basicamente por permitir a transmissão de força mais rápida para os tendões.

7 CONCLUSÃO

Apesar da sua importância para o desempenho em provas de resistência, possibilitando velocidades mais altas na segunda metade da corrida, a melhora na EC não afetou a estratégia de prova utilizada pelo atleta durante uma corrida de 10km contrarrelógio. A estratégia de prova parece ser um sistema complexo, definido previamente e influenciado por fatores fisiológicos, psicológicos e experiências prévias que em conjunto norteiam a tomada de decisão sobre os ajustes da intensidade do esforço durante a corrida. Assim, a manipulação de um único fator nesse sistema parece não alterar todo o processo.

Adicionalmente, confirmamos os efeitos benéficos do treinamento pliométrico sobre a melhora da EC. No entanto, podemos sugerir que os efeitos do treinamento pliométrico poderiam estar relacionados a mudanças na arquitetura muscular, o que parece permitir a utilização mais eficiente do CAE. Vale ressaltar ainda que, apesar da efetividade do treinamento pliométrico sobre a melhora da EC (11 entre 15 atletas), quatro atletas não responderam ao treinamento em relação a EC, o que pode ser relevante na prática profissional, uma vez que nem todos os atletas responderam positivamente ao mesmo estímulo. Assim, entender os fatores neuromusculares ou estruturais que poderiam interferir sobre as adaptações induzidas pelo treinamento pliométrico na EC é importante para uma maior individualização do treinamento.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- AAGAARD, P. et al. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. **Journal of Physiology**, v. 534, n. 2, p. 613-623, Jul 2001.
- ABBISS, C. R. et al. Effect of hot versus cold climates on power output, muscle activation, and perceived fatigue during a dynamic 100-km cycling trial. **Journal of Sports Sciences**, v. 28, n. 2, p. 117-125, Jan 2010.
- ABBISS, C. R.; LAURSEN, P. B. Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. **Sports Medicine**, v. 38, n. 3, p. 239-252, 2008.
- ABBISS, C. R. et al. Influence of starting strategy on cycling time trial performance in the heat. **International journal of sports medicine**, v. 30, n. 3, p. 188-193, Mar 2009.
- ABE, T. et al. Relationship between sprint performance and muscle fascicle length in female sprinters. **Journal of physiological anthropology and applied human science**, v. 20, n. 2, p. 141-147, Mar 2001.
- ABE, T.; KUMAGAI, K.; BRECHUE, W. F. Fascicle length of leg muscles is greater in sprinters than distance runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 32, n. 6, p. 1125-1129, Jun 2000.
- ALBERTUS, Y. et al. Effect of distance feedback on pacing strategy and perceived exertion during cycling. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 37, n. 3, p. 461-468, Mar 2005.
- ALBRACHT, K.; ARAMPATZIS, A. Exercise-induced changes in triceps surae tendon stiffness and muscle strength affect running economy in humans. **European Journal of Applied Physiology**, v. 113, n. 6, p. 1605-1615, Jun 2013.
- ALEGRE, L. M. et al. Effects of dynamic resistance training on fascicle length and isometric strength. **Journal of Sports Sciences**, v. 24, n. 5, p. 501-508, May 2006.
- ALEXANDER, R. M. Optimum Muscle Design for Oscillatory Movements. **Journal of Theoretical Biology**, v. 184, n. 3, p. 253 - 260, 1997.
- ALEXANDER, R. M.; BENNET-CLARK, H. C. Storage of elastic strain energy in muscle and other tissues. **Nature**, v. 265, n. 5590, p. 114-117, Jan 1977.
- AMANN, M. Central and peripheral fatigue: interaction during cycling exercise in humans. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 43, n. 11, p. 2039-2045, Nov 2011.
- AMANN, M. et al. Somatosensory feedback from the limbs exerts inhibitory influences on central neural drive during whole body endurance exercise. **Journal of applied physiology**, v. 105, n. 6, p. 1714-1724, Dec 2008.
- AMANN, M. et al. Opioid-mediated muscle afferents inhibit central motor drive and limit peripheral muscle fatigue development in humans. **The Journal of physiology**, v. 587, n. 1, p. 271-283, Jan 2009.

ARAMPATZIS, A.; BRUGGEMANN, G. P.; METZLER, V. The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running. **Journal of biomechanics**, v. 32, n. 12, p. 1349-1353, Dec 1999.

ARAMPATZIS, A. et al. Influence of the muscle-tendon unit's mechanical and morphological properties on running economy. **Journal of Experimental Biology**, v. 209, n. 17, p. 3345-3357, Sep 2006.

ARAMPATZIS, A.; KARAMANIDIS, K.; ALBRACHT, K. Adaptational responses of the human Achilles tendon by modulation of the applied cyclic strain magnitude. **The Journal of experimental biology**, v. 210, n. 15, p. 2743-2753, Aug 2007.

ARAMPATZIS, A. et al. Mechanical properties of the triceps surae tendon and aponeurosis in relation to intensity of sport activity. **Journal of biomechanics**, v. 40, n. 9, p. 1946-1952, 2007.

ATKINSON, G.; PEACOCK, O.; LAW, M. Acceptability of power variation during a simulated hilly time trial. **International journal of sports medicine**, v. 28, n. 2, p. 157-163, Feb 2007.

ATKINSON, G. et al. Distribution of power output during cycling: impact and mechanisms. **Sports Medicine**, v. 37, n. 8, p. 647-667, 2007.

AVOGADRO, P.; KYROLAINEN, H.; BELLI, A. Influence of mechanical and metabolic strain on the oxygen consumption slow component during forward pulled running. **European Journal of Applied Physiology**, v. 93, n. 1-2, p. 203-209, Oct 2004.

BADEN, D. A. et al. Effect of anticipation during unknown or unexpected exercise duration on rating of perceived exertion, affect, and physiological function. **British Journal of Sports Medicine**, v. 39, n. 10, p. 742-746; discussion 742-746, Oct 2005.

BARON, B. et al. Self selected speed and maximal lactate steady state speed in swimming. **The Journal of sports medicine and physical fitness**, v. 45, n. 1, p. 1-6, Mar 2005.

BARON, B. et al. The eccentric muscle loading influences the pacing strategies during repeated downhill sprint intervals. **European Journal of Applied Physiology**, v. 105, n. 5, p. 749-757, Mar 2009.

BARON, B. et al. The role of emotions on pacing strategies and performance in middle and long duration sport events. **British Journal of Sports Medicine**, v. 45, n. 6, p. 511-517, May 2011.

BARON, B. et al. Why does exercise terminate at the maximal lactate steady state intensity? **British Journal of Sports Medicine**, v. 42, n. 10, p. 828-833, Oct 2008.

BATH, D. et al. The effect of a second runner on pacing strategy and RPE during a running time trial. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 7, n. 1, p. 26-32, Mar 2012.

BEHM, D. G.; SALE, D. G. Velocity specificity of resistance training. **Sports Medicine**, v. 15, n. 6, p. 374-388, Jun 1993.

- BERRYMAN, N.; MAUREL, D.; BOSQUET, L. Effect of plyometric vs. dynamic weight training on the energy cost of running. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 24, n. 7, p. 1818-1825, Jul 2010.
- BERTUZZI, R. et al. Pacing Strategy Determinants during a 10-km running time trial: contributions of perceived effort physiological and muscular parameters. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 28, n. 6, p. 1688-1696, Jul 2014.
- BIEWENER, A. A.; ROBERTS, T. J. Muscle and tendon contributions to force, work, and elastic energy savings: a comparative perspective. **Exercise and sport sciences reviews**, v. 28, n. 3, p. 99-107, Jul 2000.
- BILLAT, V. et al. Nonlinear dynamics of heart rate and oxygen uptake in exhaustive 10,000 m runs: influence of constant vs. freely paced. **The journal of physiological sciences**, v. 56, n. 1, p. 103-111, Feb 2006.
- BIRCH, H. L. Tendon matrix composition and turnover in relation to functional requirements. **International journal of experimental pathology**, v. 88, n. 4, p. 241-248, Aug 2007.
- BISHOP, D.; BONETTI, D.; DAWSON, B. The influence of pacing strategy on VO₂ and supramaximal kayak performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 6, p. 1041-1047, Jun 2002.
- BLAZEVOICH, A. J. et al. Training-specific muscle architecture adaptation after 5-wk training in athletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 35, n. 12, p. 2013-2022, Dec 2003.
- BLAZEVOICH, A. J.; GILL, N. D.; ZHOU, S. Intra- and intermuscular variation in human quadriceps femoris architecture assessed in vivo. **Journal of anatomy**, v. 209, n. 3, p. 289-310, Sep 2006.
- BOBBERT, M. F. Drop jumping as a training method for jumping ability. **Sports Medicine**, v. 9, n. 1, p. 7-22, Jan 1990.
- _____. Dependence of human squat jump performance on the series elastic compliance of the triceps surae: a simulation study. **The Journal of experimental biology**, v. 204, n. 3, p. 533-542, Feb 2001.
- BOBBERT, M. F. et al. Biomechanical analysis of drop and countermovement jumps. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 54, n. 6, p. 566-573, 1986.
- BONACCI, J. et al. Neuromuscular Adaptations to Training, Injury and Passive Interventions Implications for Running Economy. **Sports Medicine**, v. 39, n. 11, p. 903-921, 2009.
- BORG, G. A. V. Psychophysical Bases of Perceived Exertion. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 14, n. 5, p. 377-381, 1982a.
- _____. Ratings of Perceived Exertion and Heart-Rates during Short-Term Cycle Exercise and Their Use in a New Cycling Strength Test. **International journal of sports medicine**, v. 3, n. 3, p. 153-158, 1982b.

- BRECHUE, W. F.; ABE, T. The role of FFM accumulation and skeletal muscle architecture in powerlifting performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 86, n. 4, p. 327-336, Feb 2002.
- BROWN, L. E.; WEIR, J. P. ASEP Procedures Recommendation I: Accurate Assessment of muscular strenght and power. **Journal of Exercise Physiology**, v. 4, n. 3, p. 1-21, 2001.
- BRUGHELLI, M.; CRONIN, J. A review of research on the mechanical stiffness in running and jumping: methodology and implications. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 18, n. 4, p. 417-426, Aug 2008.
- BURGESS, K. E. et al. Plyometric vs. isometric training influences on tendon properties and muscle output. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 21, n. 3, p. 986-989, Aug 2007.
- BUTLER, R. J.; CROWELL, H. P., 3RD; DAVIS, I. M. Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. **Clinical biomechanics**, v. 18, n. 6, p. 511-517, Jul 2003.
- CALDWELL, G. E. Tendon Elasticity and Relative Length: Effects on the Hill Two-Component Muscle Model. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 11, n. 1, p. 1-24, 1995.
- CARMO, E. C. et al. Estratégia de corrida em média e longa distância: como ocorrem os ajustes de velocidade ao longo da prova? **Revista brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 26, n. 2, p. 351-363, Abr./Jun. 2012a.
- CARMO, E. C. et al. Controle da estratégia de corrida durante uma prova de 10 km. In: 34 Simpósio Internacional de Ciências do Esporte, 2011. São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**. São Paulo: CELAFISCS, 2011. p. 263.
- CARMO, E. C. et al. Fast start strategy induces different individual responses in velocity regulation during a 10km race. In: 17 annual Congress of the European College of Sport Science, 2012b, Bruges, Belgium. **Book of Abstracts: European College of Sport Science**, 2012. p. 17.
- CAVAGNA, G. A. et al. The two power limits conditioning step frequency in human running. **The Journal of physiology**, v. 437, p. 95-108, Jun 1991.
- CHIMERA, N. J. et al. Effects of Plyometric Training on Muscle-Activation Strategies and Performance in Female Athletes. **Journal of athletic training**, v. 39, n. 1, p. 24-31, Mar 2004.
- CHMIELEWSKI, T. L. et al. Plyometric exercise in the rehabilitation of athletes: physiological responses and clinical application. **The Journal of orthopaedic and sports physical therapy**, v. 36, n. 5, p. 308-319, May 2006.
- COLLINS, M. H. et al. Acute effects of intense interval training on running mechanics. **Journal of Sports Sciences**, v. 18, n. 2, p. 83-90, Feb 2000.
- CORMIE, P.; MCGUIGAN, M. R.; NEWTON, R. U. Developing maximal neuromuscular power: Part 1--biological basis of maximal power production. **Sports Medicine**, v. 41, n. 1, p. 17-38, Jan 2011.

- DE BOER, M. D. et al. Effect of 5 weeks horizontal bed rest on human muscle thickness and architecture of weight bearing and non-weight bearing muscles. **European Journal of Applied Physiology**, v. 104, n. 2, p. 401-407, Sep 2008.
- DE KONING, J. J. et al. Regulation of Pacing Strategy during Athletic Competition. **Plos One**, v. 6, n. 1, Jan 2011.
- DE MORREE, H. M.; MARCORA, S. M. Effects of isolated locomotor muscle fatigue on pacing and time trial performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 113, n. 9, p. 2371-2380, Sep 2013.
- DE VILLARREAL, E. S.; GONZALEZ-BADILLO, J. J.; IZQUIERDO, M. Low and moderate plyometric training frequency produces greater jumping and sprinting gains compared with high frequency. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 22, n. 3, p. 715-725, May 2008.
- DE VILLARREAL, E. S. et al. Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: a meta-analysis. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 23, n. 2, p. 495-506, Mar 2009.
- DIPRAMPERO, P. E. et al. Energetics of Best Performances in Middle-Distance Running. **Journal of Applied Physiology**, v. 74, n. 5, p. 2318-2324, May 1993.
- DOYLE, J. A.; MARTINEZ, A. L. Reliability of a protocol for testing endurance performance in runners and cyclists. **Research quarterly for exercise and sport**, v. 69, n. 3, p. 304-307, Sep 1998.
- EKKEKAKIS, P.; LIND, E.; VAZOU, S. Affective responses to increasing levels of exercise intensity in normal-weight, overweight, and obese middle-aged women. **Obesity**, v. 18, n. 1, p. 79-85, Jan 2010.
- ESTEVE-LANAO, J. et al. Running-Specific, Periodized Strength Training Attenuates Loss of Stride Length during Intense Endurance Running. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 22, n. 4, p. 1176-1183, Jul 2008.
- ESTON, R. et al. Effect of deception and expected exercise duration on psychological and physiological variables during treadmill running and cycling. **Psychophysiology**, v. 49, n. 4, p. 462-469, Apr 2012.
- ETTEMA, G. J.; HUIJING, P. A. Properties of the tendinous structures and series elastic component of EDL muscle-tendon complex of the rat. **Journal of biomechanics**, v. 22, n. 11-12, p. 1209-1215, 1989.
- ETTEMA, G. J. C. Mechanical efficiency and efficiency of storage and release of series elastic energy in skeletal muscle during stretch-shorten cycles. **Journal of Experimental Biology**, v. 199, n. 9, p. 1983-1997, Sep 1996.
- FARLEY, C. T. et al. Hopping frequency in humans: a test of how springs set stride frequency in bouncing gaits. **Journal of applied physiology**, v. 71, n. 6, p. 2127-2132, Dec 1991.

FARLEY, C. T.; GLASHEEN, J.; MCMAHON, T. A. Running springs: speed and animal size. **The Journal of experimental biology**, v. 185, p. 71-86, Dec 1993.

FAULKNER, J.; PARFITT, G.; ESTON, R. The rating of perceived exertion during competitive running scales with time. **Psychophysiology**, v. 45, n. 6, p. 977-985, Nov 2008.

FINNI, T. et al. Nonuniform strain of human soleus aponeurosis-tendon complex during submaximal voluntary contractions in vivo. **Journal of applied physiology**, v. 95, n. 2, p. 829-837, Aug 2003.

FLETCHER, J. R.; ESAU, S. P.; MACINTOSH, B. R. Changes in tendon stiffness and running economy in highly trained distance runners. **European Journal of Applied Physiology**, v. 110, n. 5, p. 1037-1046, Nov 2010.

FOSTER, C. et al. Pattern of energy expenditure during simulated competition. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 35, n. 5, p. 826-831, May 2003.

FOSTER, C. et al. Effect of competitive distance on energy expenditure during simulated competition. **International journal of sports medicine**, v. 25, n. 3, p. 198-204, Apr 2004.

FOSTER, C.; LUCIA, A. Running economy - The forgotten factor in elite performance. **Sports Medicine**, v. 37, n. 4-5, p. 316-319, 2007.

FOSTER, C. et al. Pacing Strategy and Athletic Performance. **Sports Medicine**, v. 17, n. 2, p. 77-85, Feb 1994.

FOURE, A.; NORDEZ, A.; CORNU, C. Plyometric training effects on Achilles tendon stiffness and dissipative properties. **Journal of Applied Physiology**, v. 109, n. 3, p. 849-854, Sep 2010.

FOURE, A. et al. Effects of plyometric training on both active and passive parts of the plantarflexors series elastic component stiffness of muscle-tendon complex. **European Journal of Applied Physiology**, v. 111, n. 3, p. 539-548, Mar 2011.

FUKUNAGA, T. et al. Muscle architecture and function in humans. **Journal of biomechanics**, v. 30, n. 5, p. 457-463, May 1997.

GOSZTYLA, A. E. et al. The impact of different pacing strategies on five-kilometer running time trial performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 20, n. 4, p. 882-886, Nov 2006.

GREEN, H. J.; PATLA, A. E. Maximal aerobic power: neuromuscular and metabolic considerations. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 24, n. 1, p. 38-46, Jan 1992.

GUGLIELMO, L. G.; GRECO, C. C.; DENADAI, B. S. Effects of strength training on running economy. **International journal of sports medicine**, v. 30, n. 1, p. 27-32, Jan 2009.

GUNTHER, M.; BLICKHAN, R. Joint stiffness of the ankle and the knee in running. **Journal of biomechanics**, v. 35, n. 11, p. 1459-1474, Nov 2002.

HAKKINEN, K.; KOMI, P. V.; ALEN, M. Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. **Acta physiologica Scandinavica**, v. 125, n. 4, p. 587-600, Dec 1985.

HANON, C. et al. Pacing strategy and VO₂ kinetics during a 1500-m race. **International journal of sports medicine**, v. 29, n. 3, p. 206-211, Mar 2008.

HARDY, C. J.; REJESKI, W. J. Not What, but How One Feels - the Measurement of Affect during Exercise. **Journal of Sport and Exercise Psychology**, v. 11, n. 3, p. 304-317, Sep 1989.

HARGREAVES, M. Fatigue mechanisms determining exercise performance: integrative physiology is systems biology. **Journal of Applied Physiology**, v. 104, n. 5, p. 1541-1542, May 2008.

HAUSSWIRTH, C.; BIGARD, A. X.; GUEZENNEC, C. Y. Relationships between running mechanics and energy cost of running at the end of a triathlon and a marathon. **International journal of sports medicine**, v. 18, n. 5, p. 330-339, Jul 1997.

HAUSSWIRTH, C. et al. Pacing strategy during the initial phase of the run in triathlon: influence on overall performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 108, n. 6, p. 1115-1123, Apr 2010.

HAYES, P. R.; BOWEN, S. J.; DAVIES, E. J. The relationships between local muscular endurance and kinematic changes during a run to exhaustion at vVo(2)max. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 18, n. 4, p. 898-903, Nov 2004.

HAYES, P. R.; FRENCH, D. N.; THOMAS, K. The Effect of Muscular Endurance on Running Economy. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 9, p. 2464-2469, Sep 2011.

HELGERUD, J.; STOREN, O.; HOFF, J. Are there differences in running economy at different velocities for well-trained distance runners? **European Journal of Applied Physiology**, v. 108, n. 6, p. 1099-1105, Apr 2010.

HETTINGA, F. J. et al. Pacing strategy and the occurrence of fatigue in 4000-m cycling time trials. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 38, n. 8, p. 1484-1491, Aug 2006.

HICKSON, R. C. et al. Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. **Journal of applied physiology**, v. 65, n. 5, p. 2285-2290, Nov 1988.

HICKSON, R. C.; ROSENKOETTER, M. A.; BROWN, M. M. Strength training effects on aerobic power and short-term endurance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 12, n. 5, p. 336-339, 1980.

HOF, A. L.; VAN ZANDWIJK, J. P.; BOBBERT, M. F. Mechanics of human triceps surae muscle in walking, running and jumping. **Acta physiologica Scandinavica**, v. 174, n. 1, p. 17-30, Jan 2002.

HOFF, J.; GRAN, A.; HELGERUD, J. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 12, n. 5, p. 288-295, Oct 2002.

HOPKINS, W. G. Measures of reliability in sports medicine and science. **Sports Medicine**, v. 30, n. 1, p. 1-15, Jul 2000.

_____. The Improbable Central Governor of Maximal Endurance Performance. **Sportscience**, Auckland v. 13, p. 9-12, May 2009. Disponível em: <www.sportsci.org/2009/wghgov.htm>. Acesso em: 02 Jul. 2014.

HORITA, T. et al. Exhausting stretch-shortening cycle (SSC) exercise causes greater impairment in SSC performance than in pure concentric performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 88, n. 6, p. 527-534, Feb 2003.

HUNTER, J. P.; MARSHALL, R. N. Effects of power and flexibility training on vertical jump technique. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 3, p. 478-486, Mar 2002.

HUTCHINSON, J. C.; TENENBAUMB, G. Perceived effort — Can it be considered gestalt? **Psychology of Sport and Exercise**, v. 7, n. 6, p. 463-476, 2006.

JOHNSON, J. G. Cognitive modeling of decision making in sports. **Psychology of Sport and Exercise**, v. 7, n. 6, p. 631-653, 2006.

JOHNSTON, R. E. et al. Strength training in female distance runners: Impact on running economy. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 11, n. 4, p. 224-229, Nov 1997.

JOSEPH, T. et al. Perception of fatigue during simulated competition. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 40, n. 2, p. 381-386, Feb 2008.

KAWAKAMI, Y.; ABE, T.; FUKUNAGA, T. Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. **Journal of applied physiology**, v. 74, n. 6, p. 2740-2744, Jun 1993.

KAWAMORI, N.; HAFF, G. G. The optimal training load for the development of muscular power. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 18, n. 3, p. 675-684, Aug 2004.

KAWAMORI, N.; NEWTON, R. U. Velocity specificity of resistance training: Actual movement velocity versus intention to move explosively. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 28, n. 2, p. 86-91, Apr 2006.

KONGSGAARD, M. et al. Region specific patellar tendon hypertrophy in humans following resistance training. **Acta physiologica**, v. 191, n. 2, p. 111-121, Oct 2007.

KUBO, K.; KANEHISA, H.; FUKUNAGA, T. Effects of resistance and stretching training programmes on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. **The Journal of physiology**, v. 538, n. 1, p. 219-226, Jan 1 2002.

KUBO, K. et al. Effects of isometric training on the elasticity of human tendon structures in vivo. **Journal of applied physiology**, v. 91, n. 1, p. 26-32, Jul 2001.

KUBO, K. et al. Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 39, n. 10, p. 1801-1810, Oct 2007.

KUBO, K. et al. Effects of isometric training at different knee angles on the muscle-tendon complex in vivo. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 16, n. 3, p. 159-167, Jun 2006.

KUBO, K. et al. A Longitudinal Assessment of Running Economy and Tendon Properties in Long-Distance Runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 24, n. 7, p. 1724-1731, Jul 2010.

KUIPERS, H. et al. Variability of Aerobic Performance in the Laboratory and Its Physiologic Correlates. **International journal of sports medicine**, v. 6, n. 4, p. 197-201, 1985.

KUITUNEN, S.; KOMI, P. V.; KYROLAINEN, H. Knee and ankle joint stiffness in sprint running. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 1, p. 166-173, Jan 2002.

KUMAGAI, K. et al. Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. **Journal of applied physiology**, v. 88, n. 3, p. 811-816, Mar 2000.

KYROLAINEN, H. et al. Effects of power training on muscle structure and neuromuscular performance. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 15, n. 1, p. 58-64, Feb 2005.

KYROLAINEN, H.; BELLI, A.; KOMI, P. V. Biomechanical factors affecting running economy. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 33, n. 8, p. 1330-1337, Aug 2001.

KYROLAINEN, H. et al. Effects of marathon running on running economy and kinematics. **European Journal of Applied Physiology**, v. 82, n. 4, p. 297-304, Jul 2000.

LAMAS, L. et al. Efeito de dois métodos de treinamento no desenvolvimento da força máxima e da potência muscular de membros inferiores. **Revista brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 22, n. 3, p. 235-245, 2008.

LAMBERT, E. V.; GIBSON, A. S.; NOAKES, T. D. Complex systems model of fatigue: integrative homeostatic control of peripheral physiological systems during exercise in humans. **British Journal of Sports Medicine**, v. 39, n. 1, p. 52-62, Jan 1 2005.

LE MEUR, Y. et al. Influence of gender on pacing adopted by elite triathletes during a competition. **European Journal of Applied Physiology**, v. 106, n. 4, p. 535-545, Jul 2009.

LICHTWARK, G. A.; BOUGOULIAS, K.; WILSON, A. M. Muscle fascicle and series elastic element length changes along the length of the human gastrocnemius during walking and running. **Journal of biomechanics**, v. 40, n. 1, p. 157-164, 2007.

LICHTWARK, G. A.; WILSON, A. M. Is Achilles tendon compliance optimised for maximum muscle efficiency during locomotion? **Journal of biomechanics**, v. 40, n. 8, p. 1768-1775, 2007.

_____. Optimal muscle fascicle length and tendon stiffness for maximising gastrocnemius efficiency during human walking and running. **Journal of theoretical biology**, v. 252, n. 4, p. 662-673, Jun 21 2008.

- LIMA-SILVA, A. E. et al. Effect of performance level on pacing strategy during a 10-km running race. **European Journal of Applied Physiology**, v. 108, n. 5, p. 1045-1053, Mar 2010.
- LIMA-SILVA, A. E. et al. Listening to music in the first, but not the last 1.5 km of a 5-km running trial alters pacing strategy and improves performance. **International journal of sports medicine**, v. 33, n. 10, p. 813-818, Oct 2012.
- MACHADO, F. A. et al. Reprodutibilidade do Desempenho em Provas de Corrida de 5 e 10 km em pista de atletismo. **Revista Brasileira de Ciencia do Esporte**, 2013. No prelo.
- MAGNUSSON, S. P.; KJAER, M. Region-specific differences in Achilles tendon cross-sectional area in runners and non-runners. **European Journal of Applied Physiology**, v. 90, n. 5-6, p. 549-553, Nov 2003.
- MALISOUX, L. et al. Stretch-shortening cycle exercises: an effective training paradigm to enhance power output of human single muscle fibers. **Journal of Applied Physiology**, v. 100, n. 3, p. 771-779, Mar 2006.
- MARCORA, S. M. Perception of effort during exercise is independent of afferent feedback from skeletal muscles, heart, and lungs. **Journal of Applied Physiology**, v. 106, n. 6, p. 2060-2062, Jun 2009.
- MARCORA, S. M.; BOSIO, A.; DE MORREE, H. M. Locomotor muscle fatigue increases cardiorespiratory responses and reduces performance during intense cycling exercise independently from metabolic stress. **American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 294, n. 3, p. R874-883, Mar 2008.
- MARCORA, S. M.; STAIANO, W. The limit to exercise tolerance in humans: mind over muscle? **European Journal of Applied Physiology**, v. 109, n. 4, p. 763-770, Jul 2010.
- MARKOVIC, G.; MIKULIC, P. Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. **Sports Medicine**, v. 40, n. 10, p. 859-895, Oct 1 2010.
- MCMAHON, T. A.; CHENG, G. C. The mechanics of running: how does stiffness couple with speed? **Journal of biomechanics**, v. 23 Suppl 1, p. 65-78, 1990.
- MICHNA, H.; HARTMANN, G. Adaptation of tendon collagen to exercise. **International orthopaedics**, v. 13, n. 3, p. 161-165, 1989.
- MICKLEWRIGHT, D. et al. Previous experience influences pacing during 20 km time trial cycling. **British Journal of Sports Medicine**, v. 44, n. 13, p. 952-960, Oct 2010.
- MIKKOLA, J. et al. Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners. **International journal of sports medicine**, v. 28, n. 7, p. 602-611, Jul 2007.
- MILLET, G. P. et al. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and $\dot{V}O_2$ kinetics. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 8, p. 1351-1359, Aug 2002.

- MILLET, G. Y.; LEPERS, R. Alterations of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing exercises. **Sports Medicine**, v. 34, n. 2, p. 105-116, 2004.
- MIYATANI, M. et al. The accuracy of volume estimates using ultrasound muscle thickness measurements in different muscle groups. **European Journal of Applied Physiology**, v. 91, n. 2-3, p. 264-272, Mar 2004.
- MIYATANI, M. et al. Validity of ultrasonograph muscle thickness measurements for estimating muscle volume of knee extensors in humans. **European Journal of Applied Physiology**, v. 86, n. 3, p. 203-208, Jan 2002.
- MORGAN, D. W. et al. Ten kilometer performance and predicted velocity at VO₂max among well-trained male runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 21, n. 1, p. 78-83, Feb 1989.
- MORGAN, D. W. et al. Variability in running economy and mechanics among trained male runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 23, n. 3, p. 378-383, Mar 1991.
- MORIN, J. B. et al. A simple method for measuring stiffness during running. **Journal of applied biomechanics**, v. 21, n. 2, p. 167-180, May 2005.
- MORIN, J. B. et al. Spring-mass model characteristics during sprint running: correlation with performance and fatigue-induced changes. **International journal of sports medicine**, v. 27, n. 2, p. 158-165, Feb 2006.
- MURAOKA, T. et al. Elastic properties of human Achilles tendon are correlated to muscle strength. **Journal of applied physiology**, v. 99, n. 2, p. 665-669, Aug 2005.
- MYER, G. D. et al. The effects of plyometric vs. dynamic stabilization and balance training on power, balance, and landing force in female athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 20, n. 2, p. 345-353, May 2006.
- MYER, G. D. et al. Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 19, n. 1, p. 51-60, Feb 2005.
- NEWTON, R. U. et al. Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 75, n. 4, p. 333-342, 1997.
- NICOL, C.; AVELA, J.; KOMI, P. V. The stretch-shortening cycle - A model to study naturally occurring neuromuscular fatigue. **Sports Medicine**, v. 36, n. 11, p. 977-999, 2006.
- NIELSEN, B. et al. Brain activity and fatigue during prolonged exercise in the heat. **Pflugers Archiv-European Journal of Physiology**, v. 442, n. 1, p. 41-48, Apr 2001.
- NOAKES, T. D. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 20, n. 4, p. 319-330, Aug 1988.

_____. Linear relationship between the perception of effort and the duration of constant load exercise that remains. **Journal of Applied Physiology**, v. 96, n. 4, p. 1571-1572, Apr 1 2004a.

_____. Physiological factors limiting exercise performance in CFS. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 36, n. 6, p. 1087, Jun 2004b.

_____. The central governor model of exercise regulation applied to the marathon. **Sports Medicine**, v. 37, n. 4-5, p. 374-377, 2007.

_____. Fatigue is a Brain-Derived Emotion that Regulates the Exercise Behavior to Ensure the Protection of Whole Body Homeostasis. **Frontiers in physiology**, v. 3, n. 82, p. 1-13, 2012.

NOAKES, T. D. et al. Central regulation of skeletal muscle recruitment explains the reduced maximal cardiac output during exercise in hypoxia. **American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology**, v. 287, n. 4, p. R996-999; author reply R999-1002, Oct 2004.

NOAKES, T. D.; ST CLAIR GIBSON, A. Logical limitations to the "catastrophe" models of fatigue during exercise in humans. **British Journal of Sports Medicine**, v. 38, n. 5, p. 648-649, Oct 2004.

NOAKES, T. D.; ST CLAIR GIBSON, A.; LAMBERT, E. V. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans: summary and conclusions. **British Journal of Sports Medicine**, v. 39, n. 2, p. 120-124, Feb 2005.

NUMMELA, A. T. et al. Fatigue during a 5-km running time trial. **International journal of sports medicine**, v. 29, n. 9, p. 738-745, Sep 2008.

NUMMELA, A. T. et al. Neuromuscular factors determining 5 km running performance and running economy in well-trained athletes. **European Journal of Applied Physiology**, v. 97, n. 1, p. 1-8, May 2006.

PAAVOLAINEN, L. et al. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. **Journal of Applied Physiology**, v. 86, n. 5, p. 1527-1533, May 1999a.

PAAVOLAINEN, L.; HAKKINEN, K.; RUSKO, H. Effects of explosive type strength training on physical performance characteristics in cross-country skiers. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 62, n. 4, p. 251-255, 1991.

PAAVOLAINEN, L.; NUMMELA, A.; RUSKO, H. Muscle power factors and VO₂max as determinants of horizontal and uphill running performance. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 10, n. 5, p. 286-291, Oct 2000.

PAAVOLAINEN, L. et al. Neuromuscular characteristics and fatigue during 10 km running. **International journal of sports medicine**, v. 20, n. 8, p. 516-521, Nov 1999b.

PAAVOLAINEN, L. M.; NUMMELA, A. T.; RUSKO, H. K. Neuromuscular characteristics and muscle power as determinants of 5-km running performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 31, n. 1, p. 124-130, Jan 1999.

PEREZ-GOMEZ, J. et al. Effects of weight lifting training combined with plyometric exercises on physical fitness, body composition, and knee extension velocity during kicking in football. **Applied physiology, nutrition, and metabolism**, v. 33, n. 3, p. 501-510, Jun 2008.

PERREY, S. et al. Comments on Point:Counterpoint: Afferent feedback from fatigued locomotor muscles is/is not an important determinant of endurance exercise performance. **Journal of Applied Physiology**, v. 108, n. 2, p. 1672-3, 2010.

PIRES, F. O. et al. The influence of peripheral afferent signals on the rating of perceived exertion and time to exhaustion during exercise at different intensities. **Psychophysiology**, v. 48, n. 9, p. 1284-1290, Sep 2011.

POTTEIGER, J. A. et al. Muscle Power and Fiber Characteristics Following 8 Weeks of Plyometric Training. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 13, n. 3, p. 5, 1999.

POWELL, P. L. et al. Predictability of skeletal muscle tension from architectural determinations in guinea pig hindlimbs. **Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology**, v. 57, n. 6, p. 1715-1721, Dec 1984.

POWERS, S. K. et al. Ventilatory Threshold, Running Economy and Distance Running Performance of Trained Athletes. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 54, n. 2, p. 179-182, 1983.

REEVES, N. D.; NARICI, M. V.; MAGANARIS, C. N. Strength training alters the viscoelastic properties of tendons in elderly humans. **Muscle Nerve**, v. 28, n. 1, p. 74-81, Jul 2003.

RENFREE, A. et al. Application of Decision-Making Theory to the Regulation of Muscular Work Rate during Self-Paced Competitive Endurance Activity. **Sports Medicine**, v. 44, n. 2, p. 147-158, Feb 2014a.

RENFREE, A. et al. Tactical considerations in the middle-distance running events at the 2012 olympic games: a case study. **International journal of sports physiology and performance**, v. 9, n. 2, p. 362-364, Mar 2014b.

RENFREE, A.; ST CLAIR GIBSON, A. Influence of different performance levels on pacing strategy during the Women's World Championship marathon race. **International journal of sports physiology and performance**, v. 8, n. 3, p. 279-285, May 2013.

RENFREE, A. et al. Complex interplay between determinants of pacing and performance during 20-km cycle time trials. **Int J Sports Physiol Perform**, v. 7, n. 2, p. 121-129, Jun 2012.

RHODEN, C.; WEST, J. Affect in sporting activities: A pre-liminary validation of the Worcester Affect Scale. **Sport Science Review**, v. 19, p. 71-91, 2010.

ROBERTS, T. J. The integrated function of muscles and tendons during locomotion. **Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology**, v. 133, n. 4, p. 1087-1099, Dec 2002.

ROBERTS, T. J. et al. Energetics of bipedal running. I. Metabolic cost of generating force. **The Journal of experimental biology**, v. 201, n. Pt 19, p. 2745-2751, Oct 1998.

ROELANDS, B. et al. Neurophysiological determinants of theoretical concepts and mechanisms involved in pacing. **Sports Medicine**, v. 43, n. 5, p. 301-311, May 2013.

ROSAGER, S. et al. Load-displacement properties of the human triceps surae aponeurosis and tendon in runners and non-runners. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 12, n. 2, p. 90-98, Apr 2002.

ROSE, E. A.; PARFITT, G. Can the feeling scale be used to regulate exercise intensity? **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 40, n. 10, p. 1852-1860, 2008.

RUSSELL, R. D. et al. Reproducibility of endurance performance on a treadmill using a preloaded time trial. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 36, n. 4, p. 717-724, Apr 2004.

SACKS, R. D.; ROY, R. R. Architecture of the hind limb muscles of cats: functional significance. **Journal of morphology**, v. 173, n. 2, p. 185-195, Aug 1982.

SASAKI, K.; NEPTUNE, R. R. Muscle mechanical work and elastic energy utilization during walking and running near the preferred gait transition speed. **Gait Posture**, v. 23, n. 3, p. 383-390, Apr 2006.

SAUNDERS, P. U. et al. Factors affecting running economy in trained distance runners. **Sports Medicine**, v. 34, n. 7, p. 465-485, 2004.

SAUNDERS, P. U. et al. Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 20, n. 4, p. 947-954, Nov 2006.

SCOTT, S. H.; ENGSTROM, C. M.; LOEB, G. E. Morphometry of human thigh muscles. Determination of fascicle architecture by magnetic resonance imaging. **Journal of anatomy**, v. 182 (Pt 2), p. 249-257, Apr 1993.

SEYFARTH, A.; BLICKHAN, R.; VAN LEEUWEN, J. L. Optimum take-off techniques and muscle design for long jump. **The Journal of experimental biology**, v. 203, n. Pt 4, p. 741-750, Feb 2000.

SEYFARTH, A. et al. A movement criterion for running. **Journal of biomechanics**, v. 35, n. 5, p. 649-655, May 2002.

SKINNER, J. S.; MCLELLAN, T. M. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. **Research quarterly for exercise and sport**, v. 51, n. 1, p. 234-248, Mar 1980.

SPURRS, R. W.; MURPHY, A. J.; WATSFORD, M. L. The effect of plyometric training on distance running performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 89, n. 1, p. 1-7, Mar 2003.

ST CLAIR GIBSON, A. et al. The conscious perception of the sensation of fatigue. **Sports Medicine**, v. 33, n. 3, p. 167-176, 2003.

ST CLAIR GIBSON, A. et al. Crawling to the finish line: why do endurance runners collapse? Implications for understanding of mechanisms underlying pacing and fatigue. **Sports Medicine**, v. 43, n. 6, p. 413-424, Jun 2013.

ST CLAIR GIBSON, A. et al. The role of information processing between the brain and peripheral physiological systems in pacing and perception of effort. **Sports Medicine**, v. 36, n. 8, p. 705-722, 2006.

ST CLAIR GIBSON, A.; NOAKES, T. D. Evidence for complex system integration and dynamic neural regulation of skeletal muscle recruitment during exercise in humans. **British Journal of Sports Medicine**, v. 38, n. 6, p. 797-806, Dec 2004.

STAINSBY, W. N.; LAMBERT, C. R. Determination of oxygen uptake in skeletal muscle. **Exercise and sport sciences reviews**, v. 7, p. 125-151, 1979.

STEFANYSHYN, D.; NIGG, B. Dynamic angular stiffness of the ankle joint during running and sprinting. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 14, n. 3, p. 292-300, 1998.

STONE, M. R. et al. Consistency of perceptual and metabolic responses to a laboratory-based simulated 4,000-m cycling time trial. **European Journal of Applied Physiology**, v. 111, n. 8, p. 1807-1813, Aug 2011.

STOREN, O.; HELGERUD, J.; HOFF, J. Running Stride Peak Forces Inversely Determine Running Economy in Elite Runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 1, p. 117-123, Jan 2011.

STOREN, O. et al. Maximal strength training improves running economy in distance runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 40, n. 6, p. 1087-1092, Jun 2008.

SVEDENHAG, J.; SJODIN, B. Maximal and Submaximal Oxygen Uptakes and Blood Lactate Levels in Elite Male Middle-Distance and Long-Distance Runners. **International journal of sports medicine**, v. 5, n. 5, p. 255-261, 1984.

SWART, J. et al. Exercising with reserve: exercise regulation by perceived exertion in relation to duration of exercise and knowledge of endpoint. **British Journal of Sports Medicine**, v. 43, n. 10, p. 775-781, Oct 2009a.

SWART, J. et al. Exercising with reserve: evidence that the central nervous system regulates prolonged exercise performance. **British Journal of Sports Medicine**, v. 43, n. 10, p. 782-788, Oct 2009b.

TAIPALE, R. S. et al. Strength training in endurance runners. **International journal of sports medicine**, v. 31, n. 7, p. 468-476, Jul 2010.

THOMAS, D. Q.; FERNHALL, B.; GRANAT, H. Changes in running economy during a 5-km run in trained men and women runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 13, n. 2, p. 162-167, May 1999.

THOMAS, K. et al. Reproducibility of pacing strategy during simulated 20-km cycling time trials in well-trained cyclists. **European Journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 1, p. 223-229, Jan 2012.

TOUMI, H. et al. Muscle plasticity after weight and combined (weight + jump) training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 36, n. 9, p. 1580-1588, Sep 2004.

TUCKER, R. The anticipatory regulation of performance: the physiological basis for pacing strategies and the development of a perception-based model for exercise performance. **British Journal of Sports Medicine**, v. 43, n. 6, p. 392-400, Jun 2009a.

TUCKER, R.; LAMBERT, M. I.; NOAKES, T. D. An analysis of pacing strategies during men's world-record performances in track athletics. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 1, n. 3, p. 233-245, Sep 2006.

TUCKER, R. et al. The rate of heat storage mediates an anticipatory reduction in exercise intensity during cycling at a fixed rating of perceived exertion. **Journal of Physiology**, v. 574, n. 3, p. 905-915, Aug 1 2006.

TUCKER, R.; NOAKES, T. D. The physiological regulation of pacing strategy during exercise: a critical review. **British Journal of Sports Medicine**, v. 43, n. 6, p. e1, Jun 2009.

TURNER, A. M.; OWINGS, M.; SCHWANE, J. A. Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 17, n. 1, p. 60-67, Feb 2003.

UGRINOWITSCH, C.; BARBANTI, V. J. O ciclo de alongamento e encurtamento e a "performance" no salto vertical. **Revista Paulista de Educação Física**, v. 12, n. 1, p. 85-94, 1998.

ULMER, H. V. Concept of an extracellular regulation of muscular metabolic rate during heavy exercise in humans by psychophysiological feedback. **Experientia**, v. 52, n. 5, p. 416-420, May 1996.

VAN LEEUWEN, J. L.; SPOOR, C. W. Modelling mechanically stable muscle architectures. **Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences**, v. 336, n. 1277, p. 275-292, May 29 1992.

VISSER, J. J. et al. Length and moment arm of human leg muscles as a function of knee and hip-joint angles. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 61, n. 5-6, p. 453-460, 1990.

WAGEMANS, J. et al. A century of Gestalt psychology in visual perception: II. Conceptual and theoretical foundations. **Psychological bulletin**, v. 138, n. 6, p. 1218-1252, Nov 2012.

WALSHE, A. D.; WILSON, G. J. The influence of musculotendinous stiffness on drop jump performance. **Canadian journal of applied physiology**, v. 22, n. 2, p. 117-132, Apr 1997.

WALSHE, A. D.; WILSON, G. J.; ETTEMA, G. J. C. Stretch-shorten cycle compared with isometric preload: contributions to enhanced muscular performance. **Journal of Applied Physiology**, v. 84, n. 1, p. 97-106, Jan 1998.

WARHOL, M. J. et al. Skeletal-Muscle Injury and Repair in Marathon Runners after Competition. **American Journal of Pathology**, v. 118, n. 2, p. 331-339, 1985.

WATSON, D.; CLARK, L. A. Measurement and mismeasurement of mood: recurrent and emergent issues. **Journal of personality assessment**, v. 68, n. 2, p. 267-296, Apr 1997.

WESTON, A. R.; MBAMBO, Z.; MYBURGH, K. H. Running economy of African and Caucasian distance runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 32, n. 6, p. 1130-1134, Jun 2000.

WICKIEWICZ, T. L. et al. Muscle architecture of the human lower limb. **Clinical orthopaedics and related research**, n. 179, p. 275-283, Oct 1983.

WINTER, D. A. Moments of force and mechanical power in jogging. **Journal of biomechanics**, v. 16, n. 1, p. 91-97, 1983.

XU, F.; MONTGOMERY, D. L. Effect of prolonged exercise at 65 and 80% of VO₂max on running economy. **International journal of sports medicine**, v. 16, n. 5, p. 309-313, Jul 1995.

ZAMPARO, P. et al. The self selected speed of running in recreational long distance runners. **International journal of sports medicine**, v. 22, n. 8, p. 598-604, Nov 2001.

ZUURBIER, C. J.; HUIJING, P. A. Changes in geometry of actively shortening unipennate rat gastrocnemius muscle. **Journal of morphology**, v. 218, n. 2, p. 167-180, Nov 1993.

ANEXO**Planilha de controle de treinamento de corrida**

Nome: _____

Período: _____ a _____ Semana de treinamento: ()

Dia	Tipo de treino (contínuo/intervalado)	Volume (distância)	Intensidade
Segunda			
Terça			
Quarta			
Quinta			
Sexta			
Sábado			
Domingo			